



XXIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Suelos... Huellas del pasado, desafíos del futuro

San Fernando del Valle de Catamarca,
Prov. de Catamarca, Argentina
21 al 24 de mayo de 2024



EROSIÓN DE CAMINOS RURALES EN CUENCAS DE LLANURA: HACIA UN NUEVO CONCEPTO EN MANTENIMIENTO Y RESTAURACIÓN

Cisneros, J.M.¹, González, J.G.¹, Cabrera, F.S.¹, Bergesio, L.B.¹, Bozzer, C.¹, Cholaky, C.G.¹, Degioanni, A.J.¹, Baffy, J.², Costa, D.³, Casali, C.³, Montico, S.⁴

¹ Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta 36 km 601, ² Municipalidad de General Deheza, Asunción 81, G. Deheza, ³ Asociación Argentina de Caminos Rurales Sustentables (AACRUS), ⁴ Universidad Nacional de Rosario.
jcisneros@ayv.unrc.edu.ar

RESUMEN: La erosión de caminos rurales limita el desarrollo territorial de una región. En el sur de Córdoba, los relieves entre ondulados y planos, con pendientes muy largas, y en suelos poco cohesivos, se hipotetiza que la traza de los caminos, aumenta la conectividad, el área de aporte y la erosión, y que las formas de mantenimiento actuales contribuyen a retroalimentar este proceso. El objetivo del trabajo es evaluar la dinámica de la erosión en caminos rurales y proponer nuevos conceptos para su manejo y mantenimiento. Se trabajó en las cuencas del Arroyo Suco (49.000 ha) y General Deheza (55.000 has), se definieron las cuencas y subcuencas. Se determinó un grado de erosión de entre 75 y 90 % de la red de caminos, utilizando como indicador la profundidad de la traza hasta el nivel de los campos. La conectividad se definió a través de la medición de pendientes del camino y evidencias de circulación de escorrentía. Los resultados muestran que, en la Cuenca Arroyo Suco, el 82 % de los caminos presentan algún grado de deterioro, el 56 % presenta una erosión superior a 1 m de profundidad, y el 56 % forma parte de la red de drenaje. Para la cuenca General Deheza, el 64 % de los caminos presenta deterioro, el 35 % con una erosión superior a 1 m, y el 90 % de los caminos forman parte de la red de drenaje de la cuenca. Las formas de mantenimiento actual se basan en la remoción de calzada y banquina, y en la eliminación de vegetación. Todo ello atenta contra la conservación del nivel del camino y retroalimenta la erosión. Una menor remoción, el empastado de banquetas, biodiversidad en veredas, el relleno y compactación, y la definición de áreas de tránsito mínimos se postulan como nuevos conceptos de mantenimiento.

PALABRAS CLAVE: caminos rurales, erosión, mantenimiento

INTRODUCCION

Los caminos rurales son un importante componente de la infraestructura de una región, y su deterioro genera severos problemas sociales y ambientales. Los caminos rurales tienen efecto en la conectividad de la cuenca, en especial en eventos climáticos extremos (Zhang et al., 2019), como por las alteraciones del flujo por intercepción en el camino, y por la alta producción de sedimentos (Cao et al., 2021). La estructura de los caminos rurales reduce los valores umbrales de formación de cárcavas (Katz et al., 2014) al reducirse tanto el área como la pendiente crítica, en especial cuando los caminos interceptan el flujo natural de escurrimiento. Cao et al. (2021) destacan la relación entre la erosión del camino rural, su pendiente y el área de cuenca de aporte de escorrentía. Se han desarrollado modelos de erosión específicos para caminos rurales (Fu et al., 2009, 2010). Ngezahayo et al. (2019) destacan que la máxima erodabilidad de caminos rurales se da en suelos de textura arenolimosos, como los del área de estudio del presente proyecto. En la región bajo estudio existen antecedentes sobre la problemática de caminos rurales (Cisneros et al., 2020), que impacta en la dinámica de daños socio-ambientales: inundaciones, aislamiento de

Organizado por:



poblaciones, aumento de costos de mantenimiento, entre otros. Cristeche (2009), evaluó que el costo de la externalidad por daño a los caminos rurales representa entre el 6 al 10 % del valor de la producción agrícola de la región. Una reciente publicación (Costa y Casali, 2022), da cuenta de las nuevas ideas sobre mantenimiento y manejo de caminos rurales, y sus beneficios ambientales y económicos.

Se hipotetiza que la traza de los caminos rurales en paisajes de baja pendiente, y suelos areno-francos, aumenta la conectividad de las cuencas y el área de aporte, al mismo tiempo que las formas de mantenimiento actuales contribuyen a retroalimentar su erosión. El objetivo del trabajo es evaluar la dinámica de la erosión en caminos rurales en las cuencas del Arroyo Suco y General Deheza (Córdoba), y proponer nuevos conceptos para su mantenimiento y restauración.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las dos cuencas estudiadas se ubican en la región agrícola del suroeste de Córdoba, ocupando una superficie total de 105.000 ha (Figura 1). El clima del área es templado-subhúmedo, mesotermal, de régimen monzónico con invierno seco, su lluvia media anual fluctúa entre 750 y 850 mm, con extremos de 400 y 1200 mm. Los suelos son Hapludoles típicos, énticos, y Argiustoles típicos, desarrollados sobre materiales originarios areno-francos. El uso del suelo en la zona de estudio es agrícola en un 80 %, los cultivos predominantes son maíz (40 %) y soja (30 %), y en menor medida maní y sorgo (5 %), en el uso ganadero se utiliza alfalfa (5 %) y pastizales naturales en humedales. La cuenca Arroyo Suco y la cuenca General Deheza pertenecen a sendos Consorcios de Conservación de Suelos (Ley Provincial 8.839). Las principales características físicas e hidrológicas se detallan en la Tabla 1.

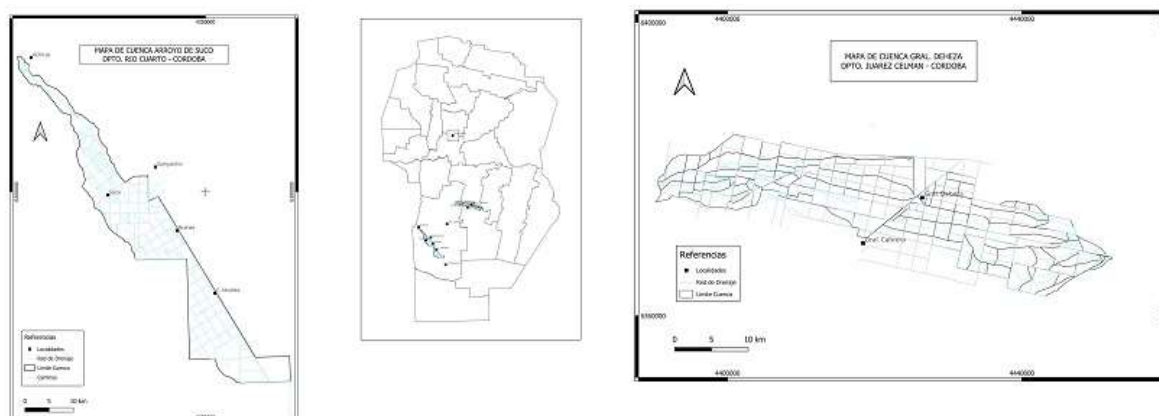


Figura 1. Ubicación de las cuencas en estudio en la Provincia de Córdoba.

Tabla 1. Características de las cuencas Arroyo Suco y General Deheza.

Cuenca	Superficie, ha	Número de cuencas elementales	Pendiente media, (max-min), en %	Suelos predominantes
Arroyo Suco	49.300	92	0,7 (0,3-3,1)	Haplustol éntico y típico
General Deheza	54.600	147	0,5 (0,3-0,9)	Haplustol típico y údico

Se definieron las cuencas, subcuencas y red de drenaje por fotointerpretación de imágenes de alta resolución de Google Earth ®, y un exhaustivo control de campo, en base a la hipótesis de que los caminos rurales conducen la mayor parte del escurrimiento. Se trazaron los perfiles longitudinales de los caminos con GPS diferencial, para detectar divisorios y trasvases de cuencas. Se realizó el relevamiento a campo de, al menos, el 60 % de la longitud de los caminos rurales de cada cuenca, a los fines de evaluar el grado de erosión, en función de los siguientes indicadores:

a. Proporción de caminos que funcionan como vías de drenaje de las cuencas,

b. Profundidad de la traza del camino en función del nivel de los campos aledaños, en una escala de 5 categorías: a: Sin erosión (0-0,5 m profundidad), erosión leve (0,5 a 1 m), erosión grave (1-2 m de profundidad), erosión muy grave (más de 2 m de profundidad). Se integró el mapa de caminos erosionados al mapa de cuencas y se evaluó el grado de alteración de la red de drenaje y conectividad de caminos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuenca Arroyo Suco

Posee una red de caminos de tierra de 520 km (densidad de caminos aprox. 1 km/km²). Las direcciones predominantes son dos: Norte Sur y Este-Oeste, y Noroeste-Sureste (paralelas al FFCC Sampacho-Chaján y a la ruta 8). La pendiente general de la cuenca es uniforme y de dirección Noroeste-Sureste, con lo cual la mayor parte de los caminos, tienen pendiente en el sentido del flujo de escurrimiento, lo cual explica que la mayor parte de los caminos de la cuenca funcionan como vías de desagüe. Se relevó el 75 % de los caminos de la cuenca, de los cuales sólo el 18 % se presentan al mismo nivel que los campos aledaños. El resto de los caminos poseen algún grado de deterioro, con la mayor proporción de caminos entre 1 y 2 m bajo el nivel de los campos (Tabla 2 y Figura 2).

Tabla 2. Profundidad de los caminos rurales de la cuenca Arroyo Suco.

Red de caminos	km	%
Total	520	
Relevados		
(km)	388	74,5
0-0,5 m	70	18,0
0,5-1 m	95	24,4
1-2 m	159	41,0
+ 2 m	64	15,5



Figura 2: Imagen de camino con erosión de 2-3 m de profundidad en cuenca A. Suco

La cuenca no tiene una red de drenaje natural, todo el arroyo es una canalización que drena una laguna ubicada en el extremo Norte de la cuenca. De toda la red caminos de la cuenca, el 56 % funciona como vía de drenaje, con una profundidad promedio de 1,8 m, mientras que en el resto de los caminos, que no forman parte de la red de drenaje, la profundidad promedio es de 1,1 m, hecho que indicaría una relación entre profundidad y transporte de agua por los caminos.

Cuenca General Deheza

La red de caminos de tierra ocupa aproximadamente 248 km (densidad de caminos aprox. 0,45 km/km²). Las direcciones predominantes son Norte Sur y Este-Oeste y la pendiente general sigue el sentido del flujo de escurrimiento. Además, en esta cuenca, la dirección Norte-Sur coincide con la de los vientos predominantes, con lo cual la erosión eólica afecta la profundidad de los caminos. Se relevó el 95 % de los caminos transitables de la cuenca, con un 36 % de caminos sin deterioro. El 64 % restante presentó un grado variable de deterioro, siendo la mayor proporción similar a la de la cuenca anterior, es decir entre 1-2 m (Tabla 3 y Figura 3).

De toda la red caminos de la cuenca, el 90 % funciona como vía de drenaje, con una profundidad promedio de 1 m, mientras que el resto de los caminos, que no forman parte de la red de drenaje, la profundidad promedio es de 0,5 m, lo que mostraría también una relación entre profundidad y transporte de agua por los caminos. Esta alta conectividad hidrológica producida por los caminos, aumenta el área de aporte a las áreas urbanas

ubicadas dentro de la cuenca (General Deheza y Las Perdices), y sus riesgos de inundación.

Tabla 3. Profundidad de los caminos rurales de la cuenca General Deheza.

Red de caminos	km	
Total		%
Relevados (km)	236	95
0-0,5 m	85	36
0,5-1 m	68	29
1-2 m	71	30
+ 2 m	12	5



Figura 3: Imagen de camino con erosión de 2-3 m de profundidad en cuenca General Deheza.

El mantenimiento actual de los caminos

Una característica común en los caminos rurales de las cuencas son las tareas de mantenimiento o restauración, basadas en el uso intensivo de herramientas de movimiento de suelo (rastras y motoniveladora), y en menor medida de mejoramiento de calzada (enripiado y compactación), debido a su alto costo. El movimiento de suelo se realiza sobre toda la zona de camino, lo cual permite el emparejamiento de la calzada y el movimiento de suelo de la banquina, responsable del drenaje del camino (Figura 4 a y b). Esa tierra sin compactar luego es erosionada por el escurrimiento, reduciendo la cota del camino, lo que luego requiere nuevos movimientos de suelo, generando un ciclo de retroalimentación. De este modo las trazas se van profundizando, reciben, conducen y concentran los escurrimientos hasta provocar cabeceras de cárcava dentro de los caminos, algunos de los cuales deben ser abandonados y reemplazados por nueva traza.



a



b

Figura 4: Caminos rurales mantenimiento y conectividad en el Suroeste de Córdoba. a. Remoción de traza y banquina con motoniveladora, b. Conducción de escorrentía por el camino.

En la Figura 5 se presenta un esquema del ciclo de retroalimentación operado en la erosión hídrica de caminos rurales. El aflojamiento constante predispone a la erosión, lo cual profundiza el camino y permite la conectividad de cuencas, que aumentan el área de aporte y el caudal de flujo, lo que realimenta la energía del escurrimiento para generar mayor erosión.

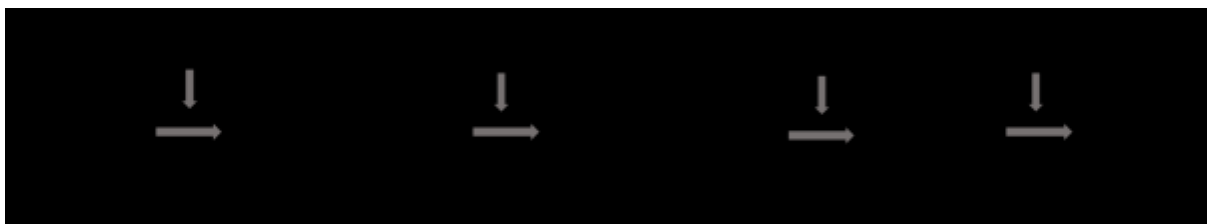


Figura 5: Ciclo de realimentación en el deterioro de caminos rurales en la región Suroeste de Córdoba.

En el mismo sentido, la remoción permanente de traza y banquina, los deja más susceptibles a la erosión eólica, en especial los caminos de dirección Norte-Sur. En las zonas deprimidas de las cuencas, la profundización de los caminos puede comenzar a drenar las freáticas, convirtiendo las banquinas en canales de drenaje, lo cual retroalimenta el ciclo de erosión y la conectividad hidrológica de las cuencas.

Nuevos conceptos en mantenimiento y restauración de caminos rurales

Diversos términos son aplicables a la problemática de caminos rurales: **Preservar**: resguardo o defensa anticipada frente al riesgo de deterioro; **Conservar/mantener**: mantener estructuras y funciones para que el objeto no se deteriore y sostenga su prestación; **Restaurar**: recuperar aquello que perdió su esencia o función y **Rehabilitar**: intervenir para retornar a la funcionalidad original a expensas de acciones dirigidas.

En una reciente publicación, Costa y Casali (2022) sientan las bases conceptuales de un cambio en las formas de conservación y restauración de los caminos de tierra. Un principio básico se basa en el uso de la vegetación para estabilizar materiales de suelo, o bioingeniería. La vegetación produce los siguientes efectos (Morgan y Rickson, 1995): **a.** hidrológicos (aumenta la infiltración y la evaporación, reduce el escurrimiento), **b.** hidráulicos (reduce la velocidad del flujo y captura sedimentos por aumento de rugosidad) y **c.** mecánicos (desecha y estabiliza el material de suelo, aumenta su resistencia al corte). Sobre esta base se proponen nuevos conceptos, sintetizados a continuación:

1. Menor remoción de vegetación en el camino: La bioingeniería soportaría la hipótesis de que un mantenimiento de caminos con menor número y ancho de remoción de suelo (limitada sólo a la calzada de tránsito), permitiría una mayor estabilidad del camino. Esto significa un cambio de principios similar a lo que fue la siembra directa en relación a la labranza convencional (Costa y Casali, 2022). La evidencia empírica en la región de estudio muestra que los caminos con menor intensidad de remoción, mantienen su integridad y sufren menor erosión (Figura 6).



a



b

Figura 6: Caminos rurales con menor remoción, con banquinas empastadas en el Suroeste de Córdoba. **a.** Cuenca Arroyo Suco, **b.** Cuenca General Deheza.

2. Empastado de banquinas: Se basa en los efectos hidráulicos y mecánicos de la bioingeniería, y consiste en el empastado corto de banquinas, el cual también debería

usarse en ingeniería de caminos rurales. Esto implica definir a la banquina sólo para la circulación de agua, y por lo tanto debería cumplir los principios de estabilización de canales empastados (Cisneros et al., 2012). Implica el reemplazo de la rastra y motoniveladora por la cortadora de césped en las banquetas.

3. Biodiversidad de veredas: Está asociado a la utilización de las veredas del camino (sector entre la banquina y el alambrado), como corredores biológicos y para el mantenimiento de la biodiversidad en paisajes rurales altamente intervenidos. Esto implica el mantenimiento de la vegetación espontánea en estos sectores del camino, controlando sólo las especies invasoras.

4. Relleno y compactación de pozos y serruchos: Se asocia a la menor remoción de la traza, y su reemplazo por el relleno y compactación de las depresiones con suelo nuevo, de manera de ir reemplazando paulatinamente el material perdido por erosión.

5. Mantener el ancho de traza en función del tránsito: Este principio surge de la evidencia empírica, que muestra que la remoción del camino ocupa mucho mayor ancho que el necesario para el tránsito que realmente utiliza el camino. El conocimiento local del uso efectivo de los caminos deberá definir cuál es el ancho efectivo sobre el cual optimizar las condiciones de circulación.

CONCLUSIONES

Se concluye que los caminos rurales de llanuras de baja pendiente y materiales areno-francos, están sometidos a severos procesos de erosión hídrica y eólica, constituyendo una limitante al desarrollo regional. Se considera necesario adoptar nuevos métodos preservación y restauración de caminos rurales basados en los principios de la bioingeniería.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por SECYT-UNRC y Ministerio de Agricultura y Ganadería de Córdoba.

BIBLIOGRAFIA

- Cao, L., Wang, Y., Liu, C. (2021). Study of unpaved road surface erosion based on terrestrial laser scanning. *Catena*, 199, 105091.
- Cisneros, J.M., C. Cholaky, A. Cantero Gutiérrez, J. González, M. Reynero, A. Diez, L. Bergesio, J. J. Cantero, C. Nuñez, A. Amuchástegui, A. Degioanni. (2012). Erosión hídrica. Principios y técnicas de manejo. UNIRIO Editora. 287 pags. <http://www.unirioeditora.com.ar/producto/erosion-hidrica/>
- Cisneros, J.M., Corigliano, J., González, J.G., Lameiro, S., Cholaky, C., Cabrera, S. (2020). Conectividad hidrológica en cuencas agrícolas: caminos rurales, canalización y estado de la red de drenaje. XXVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Corrientes, 13-16 Octubre de 2020. Pags. 988-993.
- Costa, D., Casali, C. (2022). Caminos rurales: de la degradación a la sustentabilidad. Asociación Argentina de Caminos Rurales Sustentables (AACRUS), Disponible en: <https://www.aacrus.org.ar/libro/>
- Cristeche, E. (2009). Valoración económica de los efectos externos de la erosión hídrica sobre la infraestructura de caminos rurales en el Sur de la provincia de Córdoba, Argentina. Tesis de Magister UBA. http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/econ/collection/tpos/document/1502-0160_CristecheER
- Katz, H. A., Daniels, J. M., & Ryan, S. (2014). Slope-area thresholds of road-induced gully erosion and consequent hillslope-channel interactions. *Earth surface processes and landforms*, 39(3), 285-295.
- Morgan, R. P. C.; Rickson, R. J. (1995). Slope Stabilization and Erosion Control - a Bioengineering Approach. Editorial: E. & F. N. Spon, London, 1995.
- Ngezahayo, E., Ghataora, G. S., & Burrow, M. P. (2019). Factors affecting erosion in unpaved roads. In *Proceedings of the 4th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'19)*, Paper No. ICGRE (Vol. 108, pp. 10-11159).

Zhang, Y., Zhao, Y., Liu, B., Wang, Z., & Zhang, S. (2019). Rill and gully erosion on unpaved roads under heavy rainfall in agricultural watersheds on China's Loess Plateau. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 284.