

## Impacto ambiental y económico en la conservación de suelo y agua con la sistematización de la cuenca del Arroyo La Ensenada

Jorge J. Gvozdenovich<sup>1</sup>, Mariano F. Saluzzio<sup>1</sup>, Matías E. Crettaz<sup>1</sup>, Miguel A. Folmer<sup>1</sup>, Viviana C. Gregorutti, Bidegain Dorelo, Mario P<sup>3</sup>. Gaitan, Juan José<sup>4</sup>

**Autores:** <sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Entre Ríos. Ruta Provincial N°11, Km 10,5. Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Paraná. <sup>3</sup> Universidad Nacional de la República (Uruguay). <sup>4</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA/ Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICET) Contacto: [gvozdenovich.jorge@inta.gob.ar](mailto:gvozdenovich.jorge@inta.gob.ar) y/o [mariano.saluzzio@uner.edu.ar](mailto:mariano.saluzzio@uner.edu.ar)

**ARK:** <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s22504559/cgrquf9q4>

### RESUMEN

El peligro de erosión es uno de los factores que más limitan la producción agrícola en el país, principalmente hídrica, ocupando más del 50% de la provincia de Entre Ríos. Para el estudio de este problema se han desarrollado modelos paramétricos y multiplicativos que asociados con herramientas de teledetección permiten estimar de forma más eficiente y real la producción de sedimentos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la cantidad de sedimentos que se movilizan por erosión hídrica en la Cuenca del arroyo La Ensenada, que desemboca en el puerto de Diamante, con el uso y manejo actual y propuesto, mediante la utilización de Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) en conjunto con Sistemas de Información Geográfica (SIG's), para grandes superficies. Se utilizaron imágenes satelitales para corroborar la información y ver los cambios en el uso y cobertura del suelo a lo largo del tiempo. Para cada uno de los factores de la USLE se digitalizaron, midieron y confeccionaron los mapas con QGIS, a su vez se utilizó la información suministrada por los Modelos Digitales de Elevaciones (MDE). Los mayores valores de pérdida de suelo coinciden con suelos altamente susceptibles a erosionarse y por su ubicación en el paisaje. El 40% de la superficie presenta pérdidas mayores a 10 Mg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> con el uso actual, mientras que para la situación propuesta este valor se reduce a un 12%. Lo propuesto, tendiente a conservar el suelo podría evitar el movimiento de sedimentos estimados en 443.492 Mg año<sup>-1</sup> dentro de la cuenca que desemboca al puerto de Diamante, lo que podría implicar importantes ahorros de dragado, logrando que el mismo vuelva a instituirse como un puerto de ultramar.

**Palabras clave:** suelos, erosión, cuenca.

## INTRODUCCION

El peligro de erosión es uno de los factores que más gravemente limitan la producción agrícola y las posibilidades de aprovechamiento de la tierra (FAO, 1976, 1983 y 1986).

En la Argentina se estima que un 37,5% del territorio está afectado por procesos de erosión hídrica y eólica, lo cual representa unas 105 millones de hectáreas. La erosión hídrica es la que más creció en el último cuarto de siglo (PROSA, 2015).

Las intensas lluvias generan erosión hídrica debido a que remueve las capas superiores de suelo, el agua que no alcanza a infiltrar se desplaza hacia ríos y arroyos, pudiendo contener plaguicidas, fertilizantes, nutrientes, rastrojos y otros contaminantes ambientales; impactando de manera negativa en la biodiversidad (Gaitán et al., 2017).

En Entre Ríos, Sasal et al. (2015) señala que la superficie afectada por erosión hídrica, representa el 50% de la superficie total de la provincia, y se señala que un 15% de la misma está afectada en grado moderado y severo, y un 35% con grado de erosión leve.

La magnitud del problema de degradación de suelos, y particularmente la erosión hídrica, tanto a nivel global como local, pone de manifiesto la relevancia de contar con modelos que permitan estimar en forma precisa la erosión representando la realidad de la forma más exacta posible (Scotta et al., 1986). Entre los modelos disponibles se encuentra la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE - Wischmeier y Smith, 1978), y con su aplicación web para Argentina publicado por Gvozdenovich et al. (2015).

El presente trabajo surge como resultado de una beca del Proyecto de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (PID), encontrándose en sus inicios, por tal razón los resultados presentados son preliminares. El objetivo fue evaluar la cantidad de sedimentos que se movilizan por erosión hídrica a nivel de cuenca, con el uso y manejo actual y propuesto, mediante la utilización del modelo paramétrico y multiplicativo (USLE) en conjunto con Sistemas de Información Geográfica (SIG's), para grandes superficies.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la cuenca del Arroyo La Ensenada, en el departamento Diamante (Latitud: -32.0644, Longitud: -60.6425 32° 3' 52" Sur, 60° 38' 33" Oeste), provincia de Entre Ríos. La misma aporta al Río Paraná en puerto de la localidad de Diamante (figura 1).



**Figura 1.** Ubicación de la Cuenca Arroyo La Ensenada

Se realizó el trabajo utilizando herramientas de SIG's. Las imágenes satelitales de Google Earth se utilizaron para corroborar la información y ver los cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo. El software utilizado como base fue QGIS, es libre y la versión utilizada fue 3.16, por lo tanto todas las digitalizaciones, medidas y mapas que se presentan a continuación corresponden al mismo, utilizando una proyección de POSGAR 2007 Argentina 5. El Modelo Digital de Elevaciones (MDE) se tomó del Instituto Geográfico Nacional (<https://www.ign.gob.ar/>), con una resolución espacial de 5 m por píxel, con una distancia entre curvas de nivel de 5 m verticales.

Para delimitar la cuenca se combinaron en QGIS los MDE correspondientes a la cuenca, para obtener las curvas de nivel. El marcado de cauces y caminos se realizó utilizando capas vectoriales y lineales. Para cauces se utilizó como base la red de hidráulica de la provincia ([https://www.hidraulica.gob.ar/capas\\_geograficas.php](https://www.hidraulica.gob.ar/capas_geograficas.php)), actualizando los que habían aumentado su longitud en los últimos años. Y los caminos se digitalizaron por la observación en las imágenes satelitales de Google Earth y Bing Maps. Los datos de longitud de cauces y caminos se pueden obtener de manera directa, mientras que para saber cuánto es la superficie de la cuenca que ocupan los mismos se tomaron valores del ancho en 8 puntos diferentes, para cada clasificación, y se calculó un valor promedio. Con los datos de largo y ancho se obtiene la superficie ocupada por los mismos. Con las curvas de nivel cada 5m verticales, mencionadas anteriormente, se procedió a la división de la cuenca en subcuencas.

La superficie de misceláneas se clasificó en dos categorías: 1. Misceláneas a: correspondiente a poblados y zonas urbanas; 2. Misceláneas b: correspondiente a construcciones rurales, cascos, instalaciones para ganadería, taperas, arboledas, montes, área destinada a reservas para ganado (silos).

Para realizar un análisis detallado de la Cuenca se tomaron dos subcuencas, representativas, donde se determinó con alto grado de precisión la superficie de misceláneas, cauces, caminos y sistematizada. Datos que se extrapolaron al resto de la cuenca para estimar la pérdida de suelo total.

Con esta información se procedió a calcular todos los factores de la USLE. Para el factor R se realizó un promedio ponderado considerando los valores correspondientes a cada departamento (Paraná y Diamante), con la superficie participante de cada uno (Donda et al., 2018). El factor K se calculó tomando el valor correspondiente a cada serie de suelo utilizando la información disponible en GeoINTA y utilizando la aplicación INTA USLE RUSLE 2.1. Para el factor LS se utilizaron los datos arrojados por SAGA GIS

mediante un cálculo hecho con la herramienta de Geo-proceso, denominado análisis del terreno, en la sección hidrología, índice topográfico, con la fórmula de Desmet & Govers (1996) y Gvozdenovich y Saluzzio, 2016.

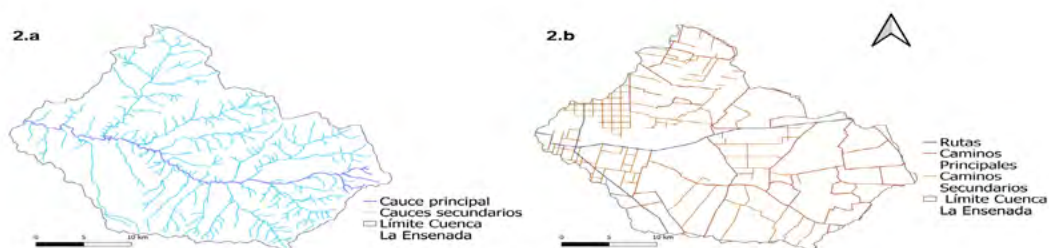
Para el Factor C se tomaron los datos publicados por Scotta y Gvozdenovich 2014. Y mediante imágenes satelitales provistas por el SIBER (comunicación personal con del director Ing. Agr. Pablo Fontanini) y de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos (BCER) (comunicación personal con del director Ing. Agr. Héctor Martínez), se determinó el uso actual de la cuenca con la superficie implicada en cada cultivo, y se calculó el Factor C ponderado que afecta a toda la cuenca. Los valores de C correspondientes a cada cultivo son: Trigo/Soja: 0,0393; Soja: 0,13; Maíz: 0,1. El factor P, se calculó realizando una evaluación del estado de sistematización de la cuenca. Luego de identificar cada lote sistematizado en las dos subcuencas identificadas como representativas. Los criterios utilizados fueron los publicados por Gvozdenovich et al. (2020). Para este trabajo, se asignó un valor  $P = 0,5$  para el estado Muy Bueno (MB), Bueno (B) corresponde a 0,7, Regular (R)  $P = 0,8$  y para Malo (M)  $P = 1$ , valor que también corresponde para toda la superficie sin sistematizar. Mientras que para el cálculo de pérdida de suelo con toda la cuenca sistematizada se asignó un Factor P objetivo de 0,5, sin modificar el valor L.

El software permite la multiplicación de las capas raster de todos los factores de la USLE dándonos el valor de Mg de suelo perdidos por ha por año, a su vez nos brinda la información de la superficie representada en los pixeles que tienen valores similares.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Al obtener el límite de la cuenca como se observa en la figura 2, la misma tiene una superficie total de 79.192 ha. También podemos ver en la figura 2.a, que el cauce principal tiene un recorrido de 50 km, y es el que le da el nombre a la cuenca, los cauces secundarios aportantes, suman 618 km. Se hizo visible un crecimiento de los mismos respecto a las últimas publicaciones oficiales de hidráulica de la provincia lo que denota que los procesos de erosión hídrica están activos. Cabe destacar que la diferencia de cota entre el punto más alto y más bajo es de 100 m.

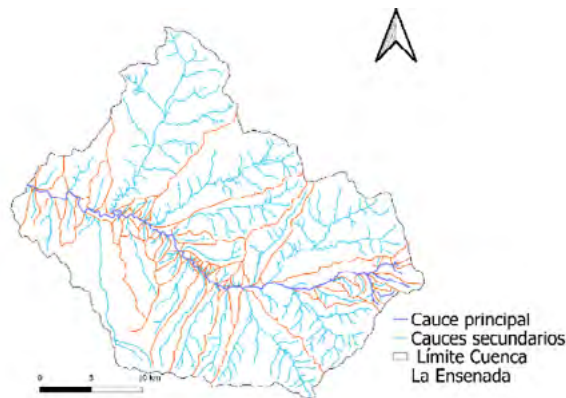
En la figura 2.b, se muestran las digitalizaciones de rutas, caminos principales (afirmados) y caminos secundarios (tierra). La longitud expresada en km para las vías de comunicación es de 588 km, de los cuales 69 km son rutas asfaltadas, 244 km corresponden a caminos principales y 275 km a caminos secundarios.



**Figura 2.** Límite de Cuenca La Ensenada; a. cauces principal y secundarios; b. vías de comunicación.

La superficie ocupada por los arroyos es de 3.626 ha, las vías de comunicación abarcan una superficie de 698 ha, y las misceláneas de 3.542 ha. Arrojando un valor total de superficie aprovechable de 71.326 ha, que representa un 90 %.

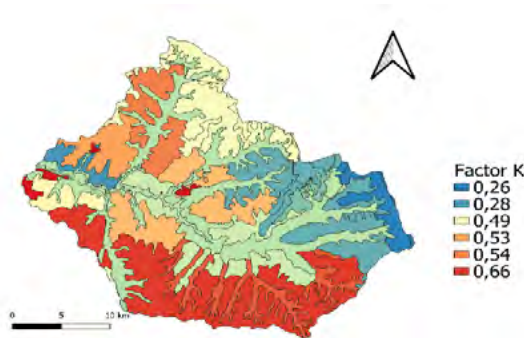
En la figura 3 se presentan las subcuencas correspondientes a la cuenca del Arroyo La Ensenada, sumando un total de 51 subcuencas.



**Figura 3.** Subcuencas delimitadas por líneas rojas.

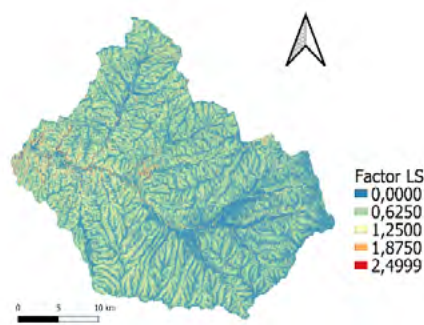
El Factor R que se aplicó para toda la cuenca La Ensenada, es 629.

Para el Factor K, como se observa en la figura 4, los valores oscilan entre 0,26 y 0,66. Los suelos característicos de la cuenca son: Argiudol vértico, Argiudol ácuico, Argiudol cumúlico, Peluderte árgico, entre otros suelos menores.



**Figura 4.** Factor K correspondiente a cada serie de suelo.

En la figura 5 se observa el Factor LS, cuyos valores oscilan entre 0,001 y 2,5, coincidiendo las zonas de mayor pendiente y menor longitud con los máximos valores, que corresponden a la zona de salida de la cuenca y zonas aledañas a los cauces.

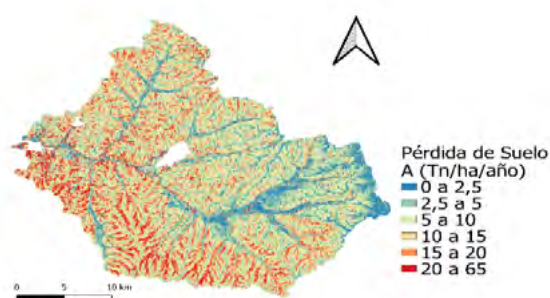


**Figura 5.** Factor LS

La rotación agrícola en la Cuenca es Soja de primera - Trigo / Soja de segunda - Maíz de primera. El valor para el Factor C ponderado es de 0,075, que fue el utilizado para el cálculo de pérdida de suelo en toda la cuenca. El Factor P tomó un valor final de 0,847.

Teniendo todos los factores que forman parte de la ecuación para la estimación de pérdida de suelo, se procedió al cálculo. En la figura 6 se presentan los valores de pérdida de suelo estimados en  $\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ , para el manejo actual. Los mayores valores de pérdida de suelo son representados en color rojo, coincidiendo con suelos altamente susceptibles a erosionarse y su ubicación en el paisaje, con pendientes cortas y pronunciadas.

Se puede observar que el 9% de la superficie pierde menos de  $2,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ , el 18% entre  $2,5$  a  $5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ , el 33% entre  $5$  a  $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ , y el 40% restante presenta pérdidas mayores a  $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  (superando el límite tolerable).



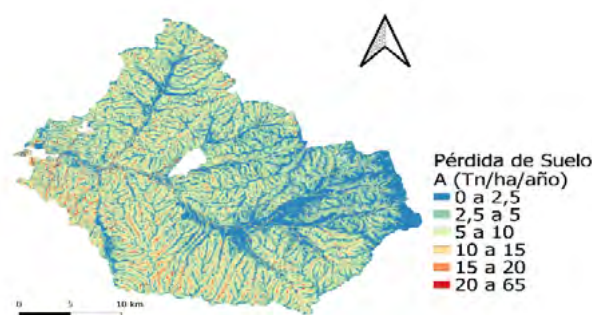
**Figura 6.** Pérdida de suelo actual en la cuenca ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ )

En la figura 7 se presenta la pérdida de suelo con la totalidad de la cuenca sistematizada, obteniendo un valor P ponderado = 0,67. Mientras que en el factor C, se incorporó cultivos de cobertura (CC), quedando una rotación CC/Soja de primera - Trigo / Soja de segunda - Cultivo de Cobertura/Maíz de primera, C ponderado = 0.052. El factor LS no fue modificado por causa de que al ser una superficie tan grande es complejo evaluar a



nivel de lote cual sería el impacto al disminuir la longitud de pendiente para cada caso particular, por lo tanto los valores presentados de pérdida de suelo en toda la cuenca sistematizada pueden estar sobrestimados.

Al comparar las dos situaciones (actual vs propuesta), observamos que un 40% de la superficie de la cuenca supera las  $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , mientras que al sistematizar toda la cuenca, solo el 12% de la superficie supera ese valor. Es decir, que aproximadamente 68.000 ha se encontrarían con pérdidas de suelo por debajo de los límites tolerables.



**Figura 7.** Pérdida de suelo con sistema propuesto ( $\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )

Con los datos presentados anteriormente se puede realizar el análisis de cuantos Mega gramos de suelo menos se aportarían a la desembocadura del Arroyo de La Ensenada, solo con intensificar la rotación y realizar prácticas de conservación de suelos. Esta disminución sería de  $443.492 \text{ Mg año}^{-1}$ , mientras que la estimación actual nos da un valor de  $892.488 \text{ Mg año}^{-1}$ , por lo tanto, disminuirían en un 50% los sedimentos que llegan al puerto de Diamante, valor que esta subestimado debido a que en el factor LS, como se explicó anteriormente, no se modificó la longitud de la pendiente.

## CONCLUSIONES

Concluimos que sistematizar la Cuenca del Arroyo La Ensenada e intensificar la rotación de cultivos, tiene alto impacto sobre la pérdida de suelo.

La estimación brindada por el modelo USLE en conjunto con SIG's es útil para el estudio de grandes superficies.

La aplicación del sistema propuesto reduciría en un 50% los Mega gramos de suelo perdidos por año, dejando aproximadamente un 88% de la superficie con valores de pérdida de suelo dentro del límite tolerable.

La aplicación de la situación propuesta tendiente a conservar el suelo podría evitar la llegada de 443.492 Mega gramos por año de sedimentos a la salida de la Cuenca del Arroyo La Ensenada, lo que podría implicar importantes ahorros de dragado en el puerto Diamante, logrando que el mismo vuelva a instituirse como un puerto de ultramar con posibilidades de comercio exterior y los grandes beneficios que esto trae aparejado para toda la región.

## BIBLIOGRAFIA

- Desmet, PJJ & Govers, G. (1996). Un procedimiento GIS para calcular automáticamente el factor USLE LS en unidades de paisaje topográficamente complejas. *Revista de conservación de suelo y agua*, 51 (5), 427-433.
- Donda, M.; Gvozdenovich, J.; Saluzzio M. & Barbagelata P. (2018). Obtención del Factor R de la USLE con el Índice Modificado de Fournier para la región núcleo productiva Argentina. XXVI CACS Tucumán.
- FAO. (1976). A framework for land evaluation. Food and agriculture organization of the United Nations.
- FAO. (1983). World Food Security: a Reappraisal of the Concepts and Approaches. Director Generals Report, Rome
- FAO. (1986). Yearbook of Forest Products 1986 Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome 1988 Forestry Series 21 FAO Statistics Series 81.
- Gaitán, J. J., Navarro, M. F., Tenti Vuegen, L. M., Pizarro, M. J., & Carfagno, P. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. Edic. INTA.
- Gvozdenovich, J.J., M.F. Saluzzio, & A.C. Pioto. (2020). Evaluación del estado de la sistematización con terrazas en Entre Ríos. XXVII CACS Corrientes.
- Gvozdenovich, J., Barbagelata, P., & López, G. (2015). Erosión Hídrica-USLE/RUSLE Argentina-INTA EEA Paraná. Software, Versión, 2.
- Gvozdenovich J. & M. Saluzzio. (2016). Propuesta de modificación en el cálculo del factor LS de la USLE. Autores: XXV CACS Río Cuarto.
- PROSA. (2015). El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Tomo 2, parte 7: Erosión y degradación de suelos. R. Casas & G. Albarracín, editores. ISBN: 9789509149403.
- Sasal M. C.; Wilson M. G.; Bedendo D. J. & Schulz G. A. (2015). Provincia de Entre Ríos. En: "El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina", tomo 2, parte 7: Erosión y degradación de suelos, pp. 111-120. R. Casas & G. Albarracín, editores. ISBN: 9789509149403.
- Scotta & Gvozdenovich. (2014). 28. Factores C para el Modelo USLE. XXIV CACS Bahía Blanca.
- Scotta, E.; Nani, L.; Conde, A.; Rojas, A.; Castañeira, H. & Paparotti, O. (1986). Manual de sistematización de tierras para control de erosión hídrica y aguas superficiales excedentes. ISSN 0325 - 8882. Serie Didáctica N° 17 - INTA EEA Paraná.
- Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. USDA. Agricultural Research Service Handbook 537. 58 pp.



**PID 2235**

**Denominación del Proyecto**

Impacto ambiental y económico en la conservación de suelo y agua con la sistematización de la cuenca del arroyo de La Ensenada

**Director**

Gvozdenovich, Jorge Jesús

**Codirector**

Saluzzio, Mariano Fabio

**Unidad de Ejecución**

Universidad Nacional de Entre Ríos

**Dependencia**

Facultad de Ciencias Agropecuarias

**Contacto**

[gvozdenovich.jorge@inta.gob.ar](mailto:gvozdenovich.jorge@inta.gob.ar) y/o [mariano.saluzzio@uner.edu.ar](mailto:mariano.saluzzio@uner.edu.ar)

**Cátedra/s, área o disciplina científica**

Tecnología de Tierras y Conservación de suelos

**Instituciones intervinientes públicas o privadas**

Estación experimental agropecuaria INTA Paraná

**Integrantes del proyecto**

Docentes UNER: Crettaz, Matías Ezequiel. Folmer, Miguel Ángel. Integrantes externos: Gregorutti, Viviana Carolina (INTA). Bidegain Dorelo, Mario Parez (UdeLAR). Gaitan, Juan José (INTA/CONICET). Colaborador: Novelli, Leonardo Esteban. Becaria PID: Gianotti, Sofía A.

**Fechas de iniciación y de finalización efectivas**

26/04/2021 y 25/04/2024

Aprobación del Informe Final por Resolución C.S. N° 248/24 (30-08-2024)