

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CUANTIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL ARROYO SANTA MARÍA, CORRIENTES, ARGENTINA

Quantification and categorization of soil loss due to water erosion in the basin of arroyo Santa María, Corrientes, Argentina.

Ybarra, Diego D.; Kurtz, Ditmar B.

EEA-INTA-Corrientes.

Email: ybarra.diego@inta.gob.ar

RESUMEN

Se analizó la cuenca de llanura del arroyo Santa María (centro-norte de la provincia de Corrientes, Argentina). El objetivo fue evaluar y categorizar la degradación de suelos mediante la estimación cuantitativa de erosión hídrica potencial (A_p) y actual (A), utilizando un entorno SIG. Se seleccionaron sitios mediante tipos, usos y manejos de suelos, resultando en 21 sitios de evaluación. Se realizó la correlación entre los factores de erodabilidad del suelo (K), el efecto de la longitud (L) y la pendiente (S) y la A_p . Los cálculos de A_p para cada sitio en la cuenca indicaron que el 73% de la variación de la A_p está explicada por los valores de K , mientras que los valores del grado y longitud de pendiente explican el 54%. Al calcular A_p , el 65,96% de la superficie de la cuenca (42161,9 ha) se clasificaron como moderadamente baja, significando pérdidas de suelo entre 20-50 $Mg \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$. El cálculo de la pérdida de suelo por erosión hídrica actual para cada sitio evaluado permitió evidenciar que el 79% de la cuenca del arroyo Santa María presenta pérdidas de suelos Muy Bajas (inferiores a 10 $Mg \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$).

Palabras clave: Cuenca; EUPS; erosión; SIG.

ABSTRACT

This study focused on the plain basin of the Santa María stream, located in the north-central region of Corrientes Province, Argentina. The primary objective was to assess and categorize soil degradation through the quantitative estimation of potential (A_p) and actual (A) water erosion, utilizing a Geographic Information System (GIS) framework. Twenty-one sites were selected based on soil types, land use, and management practices. A correlation analysis was performed among soil erodibility factors (K), slope length (L), and slope steepness (S) with A_p . The results indicated that K values accounted for 73% of the variation in A_p , while slope length and steepness explained 54%. The analysis revealed that 65.96% of the basin's area (42,161.9 ha) was classified as having moderately low Erosion potential, with estimated soil losses ranging from 20 to 50 $Mg \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$. Additionally, the assessment of actual soil loss due to water erosion showed that 79% of the Santa María basin experienced very low soil losses, measuring less than 10 $Mg \cdot ha^{-1} \cdot yr^{-1}$.

Keywords: Basin; EUPS; erosion; GIS.

INTRODUCCIÓN

El deterioro de los suelos, ocasionado por procesos erosivos, es uno de los más conocidos tanto en las regiones húmedas como semiáridas del país (Ligier et al., 1998; Casas et al., 2015). Los problemas que se originan en el manejo inadecuado de los recursos naturales afectan seriamente la capacidad productiva de los sistemas agrícolas y finalmente repercuten a mediano y largo plazo en la calidad de vida de los habitantes (Gaspari et al., 2009).

Los estudios de la dinámica de cambios de la cobertura de suelo proporcionan la base para conocer las tendencias de los procesos de degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Van Lynden y Oldeman, 1997). Los cambios de cobertura y uso del suelo, sin criterios de manejo racional, pueden causar deterioro ambiental, ocasionando cambios más o menos relevantes en la dinámica hídrica.

En la Provincia de Corrientes, Argentina, se detectaron daños provocados por erosión hídrica, tanto en tierras dedicadas a la agricultura de secano y riego, como en áreas bajas afectadas por procesos hidromórficos, utilizados con ganadería extensiva, conformando 2.260.000 ha (Escobar et al., 1996; Ligier et al., 1998; Casas et al., 2015). Los signos de erosión se presentan, tanto en tierras altas (lomeríos con erosión laminar y/o surcos), como en tierras bajas (zonas localmente llamadas malezales, con erosión reticular). Debido a la falta de información existente en la cuenca del arroyo Santa María se pretende evaluar y categorizar la degradación de los suelos, tomando como variables a la erosión hídrica. Para la planificación del uso del suelo y desarrollo de estrategias de conservación, es necesario estimar las tasas de erosión e identificar las áreas vulnerables

La erosión se define como un proceso de desgaste del terreno que ocurre naturalmente (erosión geológica). No obstante, es casi siempre magnificado por la acción del hombre (erosión antrópica o acelerada) y sobre este efecto es que se pone el énfasis al definir programas de desarrollos agropecuarios sustentables (Ligier et al., 1998). Siendo la erosión hídrica posiblemente el tipo de erosión más importante, debido a que es irreversible y de magnitud significativa. Se calcula que para tener un centímetro de suelo mineral en la capa superficial son necesarios entre 100 y 400 años, razón por la cual se considera al suelo como un recurso natural no renovable dentro de la escala de tiempo humana (Montes et al., 2011; SEMARNAT, 2013).

El objetivo de este trabajo fue evaluar y categorizar la degradación de suelos mediante la estimación cuantitativa de erosión hídrica potencial y actual, utilizando un entorno SIG.

MATERIALES Y METODOS

La cuenca del arroyo Santa María está ubicada mayormente en los municipios de Caá Catí y Berón de Astrada, pertenecientes a los departamentos de General Paz y Berón de Astrada, provincia de Corrientes, Argentina (Figura 1). La misma posee una gran extensión, abarcando un área aproximada de 63.910 ha. Su punto de aforo se encuentra ubicado en $27^{\circ}25'83''$ S, $57^{\circ}37'06''$ W. La topografía de la zona es muy plana, con muy bajas pendientes regionales, por lo que se puede decir que la cuenca presenta un comportamiento clásico de cuenca de llanura (Ybarra, 2019).

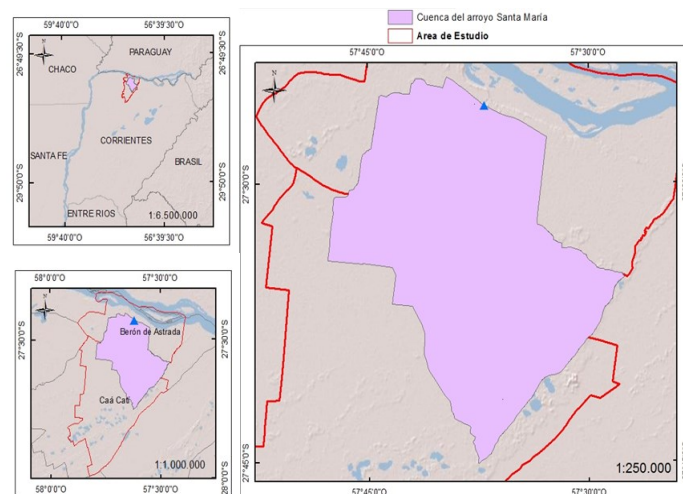


Figura 1. Límite de cuenca o divisoria de aguas de la cuenca del arroyo Santa María (Ybarra, 2019).

El cálculo de pérdida de suelos por erosión hídrica se realizó mediante el modelo EUPS (Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, Ecuación 1) este es un modelo matemático realizado por Wischmeier y Smith (1978). Incorporando a esta ecuación las variables C (tipos de cultivos y manejos de suelos) y P (prácticas de conservación de suelos), nos permitió conocer el valor de pérdida de suelos por erosión hídrica actual (Ecuación 2) en la cuenca del arroyo Santa María.

Ecuación 1. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Potencial

$$A_p = R * K * L * S$$

Donde:

A_p: Pérdida de suelo por erosión hídrica potencial. Mg.ha⁻¹.año⁻¹.

R: Erosividad de las lluvias, agresividad climática, o capacidad de las precipitaciones para producir erosión hídrica (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.año⁻¹). Es el factor que representa a la variable lluvia, representa el Índice de erosividad o la capacidad erosiva de la lluvia y es el producto de la energía cinética y su máxima intensidad en 30 minutos (i30).

K: Erodabilidad del suelo o susceptibilidad a la erosión hídrica (K = Mg.ha.h.ha⁻¹.MJ⁻¹.mm⁻¹). El factor susceptibilidad de erosión del suelo es la tasa de pérdida de suelos por unidad, para un suelo específico, medido en una porción de terreno estándar (22,13 m de largo, 9% pendiente, en barbecho y labranza continua).

L S: Efecto de la longitud (L) y la pendiente (S) en las pérdidas de suelo.

L: El factor de largo de la pendiente, es la proporción de pérdida de suelos en el largo de la pendiente específica con respecto a un largo de pendiente estándar (22,13 m).

S: El factor de magnitud de la pendiente, es la proporción de pérdida de suelos de una superficie con una pendiente específica con respecto a aquella en la pendiente estándar de 9%, con todos los otros factores idénticos.

Ecuación 2. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo actual, en la cual se incorporan los factores C y P.

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

Donde:

A: Pérdida de suelo por erosión hídrica actual. Mg.ha⁻¹.año⁻¹.

C: El factor cobertura y manejo, es la proporción de pérdida de suelo en una parcela en barbecho, con labranza continua.

P: El factor de prácticas de apoyo de conservación, es la proporción de pérdida de suelo con una práctica de apoyo como: cultivos en contorno, barreras vivas, o cultivos en Terrazas, con respecto a aquella labranza en el sentido de la pendiente.

Los valores de pérdida de suelo obtenidos se clasificaron según Ligier et al. (1998) (Tabla 1).

Tabla 1. Clases de Erosión hídrica para la Provincia de Corrientes, tomado de Ligier et al., 1998.

Clases	Pérdidas de suelo	
	Mg* ha ⁻¹ * año ⁻¹	Capa arable (cm)
Muy Baja	< 10	< 0,07
Baja	10 a 20	0,07 - 0,14
Moderadamente Baja	20 a 50	0,14 - 0,36
Moderada	50 a 70	0,36 - 0,50
Moderadamente Alta	70 a 110	0,50 - 0,78
Alta	> 110	> 0,78



La selección de sitios se realizó mediante la superposición del mapa de suelos y del mapa de usos del año 2013 (Ybarra, 2019), identificándose así 21 sitios. En la tabla 2 se pueden apreciar los usos encontrados en cada serie de suelo, tomándose como serie principal a la serie con mayor representación de cada unidad cartográfica. Se seleccionaron las series donde se encontró más de un uso, dando la posibilidad de comparación entre usos para cada serie evaluada.

Tabla 2. Sitios evaluados en la cuenca del arroyo Santa María.

Series	Usos	Historia del lote
Berón de Astrada (Eutrudefes lamélicos)	Bosque Nativo	Bosque con pastoreo y pisoteo animal
	Pastura (<i>Brachiaria brizantha</i>)	5 años desde siembra-implantación. Antes Pastizal natural con pastoreo
	Ganadería Extensiva	Ganadería de cría bovina, 0,5 - 0,7 EV.ha ⁻¹
	Mandioca	Historia del lote 1 año de agricultura convencional
Chavarría (Psamacuentes típicos)	Forestación	Historia del lote primer ciclo de plantación de <i>Eucalyptus grandis</i> . Edad de plantas 3 años. Densidad actual: 500 plantas. ha ⁻¹ , densidad inicial: 700 plantas.ha ⁻¹
	Pasturas (<i>Brachiaria</i>)	1 año desde siembra-implantación. Antes pastizal natural con pastoreo
	Ganadería Extensiva	Ganadería de cría bovina, 0,5 - 0,7 EV.ha ⁻¹
Chequín (Endoacualfes típicos)	Bosque Nativo	Bosque con pastoreo y pisoteo animal
	Arroz	Historia agrícola de 50 años. Lote con nivelación 0 Pendiente y siembra directa hace 2 años
Loreto (Hapludalfes típicos)	Ganadería Extensiva	Ganadería de cría bovina, 0,5 - 0,7 EV.ha ⁻¹
	Forestación	Historia del lote segundo ciclo de plantación de <i>Eucalyptus grandis</i> , edad de plantas 5 años, densidad inicial: 700 plantas.ha ⁻¹
	Maíz	Historia agrícola de 50 años. Monocultivo de maíz, labranza convencional
	Pasturas (<i>Brachiaria brizantha</i>)	5 años desde siembra-implantación. Antes Pastizal natural con pastoreo
Tataré (Albacualfes típicos)	Ganadería Extensiva	Ganadería de cría bovina, 0,5 - 0,7 EV.ha ⁻¹
	Arroz	Historia agrícola de 50 años. Lote con nivelación 0 Pendiente y siembra directa hace 2 años
	Forestación	Plantación de <i>Eucalyptus grandis</i> segundo ciclo (rebrote)
Timbó Paso (Natracuoles típicos)	Ganadería Extensiva	Ganadería de cría bovina, 0,5 - 0,7 EV.ha ⁻¹
	Arroz	Historia agrícola de 50 años. Lote con nivelación 0 Pendiente y siembra directa hace 2 años
Torres (Argiacuol abruptico)	Bosque Nativo	Bosque sin intervención animal (islotos dentro de la chacra de arroz)
	Arroz	Historia agrícola de 50 años. Lote con nivelación 0 Pendiente y siembra directa hace 2 años
	Ganadería Extensiva	Ganadería de cría bovina, 0,5 - 0,7 EV.ha ⁻¹

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se calculó la erosión hídrica potencial del suelo (Ap) constituida por los factores R, K, L y S, sin considerar los factores C y P, para cada serie y uso evaluado en la cuenca (Figura 1) realizándose posteriormente regresiones entre los factores intervinientes y el producto de estos (Ap) (Figuras 2 y 3). Aclarando que el factor R (erosividad) es constante en toda la cuenca, por lo que se priorizó solo al factor K y a los factores L y S en con-

junto. También se realizó una correlación entre los factores K, LS y Ap (Tabla 3). Se observó que la Ap correlaciona en un 73% con los valores del factor K, mientras que el factor LS solo se correlaciona con un 54% de los valores de Ap. Resultado que no concuerda con otras publicaciones (Condori Tintaya et al., 2022; Rodríguez, 2019), donde se remarca que la pendiente tanto en grado como en longitud (Factor L y S) es el principal factor de erosión, esto se debe a la característica topográfica de la cuenca, tal cual confirman los resultados de curva hipsométrica y pendiente media de la cuenca (Ybarra, 2019), valores que indican la presencia de una cuenca sedimentaria o tendiente a la vejes evolutiva (Llamas 1993).

Tabla 3. Matriz de correlación (Pearson) con un error de 0,05%, entre la erosión hídrica potencial del suelo (Ap), la erodabilidad del suelo (K) y el efecto del factor LS en la pérdida de suelo (LS es un factor de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Potencial que asocia la longitud y la pendiente de la cuenca).

	Ap	K	LS
Ap	1	0	6,40E-09
K	0,73	1	0,57
LS	0,54	-0,06	1

En la figura 2 se observa que en el diagrama de dispersión existe una relación positiva entre los valores del factor K y la erosión. El coeficiente de determinación obtenido es $R^2 = 0,53$, es decir el 53% de la suma de cuadrados totales de la variable dependiente (erosión) es explicada, a través de una relación lineal, por la variación observada en la variable independiente. Incrementos en valores del factor K repercuten de manera directa en aumentos de la erosión hídrica.

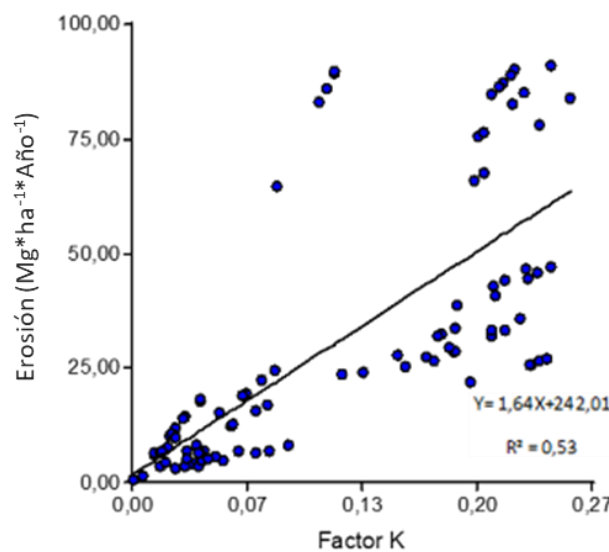


Figura 2: Regresión entre valores del factor K y la erosión hídrica superficial ($Mg \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$).

En la figura 3 se observa que en el diagrama de dispersión existe una relación positiva entre los valores del factor LS y Ap. El coeficiente de determinación obtenido es $R^2 = 0,29$, es decir el 29% de la suma de cuadrados totales de la variable dependiente (Erosión) es explicada, a través de una relación lineal, por la variación observada en la variable independiente.

El factor K presentó un rango de $0,01 Mg \cdot ha \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1} \cdot ha^{-1}$ hasta $0,23 Mg \cdot ha \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1} \cdot ha^{-1}$, con una marcada susceptibilidad sobre todo en los suelos de la zona media y baja de la cuenca, donde se ubican las series de suelos con mayor contenido de limo. Estas asociaciones con altos valores de K coinciden con suelos de alto contenido de limo (Ybarra, 2019). Siendo los más susceptibles a procesos erosivos ya que producen encostamiento y alto escurrimiento (Rodríguez, 2019).



La serie Berón de Astrada presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los usos evaluados (Figura 4.a). Observando que el uso Bosque Nativo (bosque con pastoreo y pisoteo animal) ($A_p = 82,73 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), se diferenció del resto, presentando este el mayor valor de erosión hídrica de la serie, debido a que también presentó los mayores valores de K ($0,11 \text{ Mg}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$) y LS ($0,8519$). Mientras que el uso Pasturas también se diferenció estadísticamente del resto, presentando un $A_p = 12,69 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. Los sitios con usos Forestación (*Eucaliptus grandis*) ($A_p = 4,03 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) y Mandioca ($A_p = 4,35 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) no se diferenciaron estadísticamente entre ellos, pero sí lo hicieron del resto de los sitios evaluados, coincidiendo con los menores valores de K y LS para la serie.

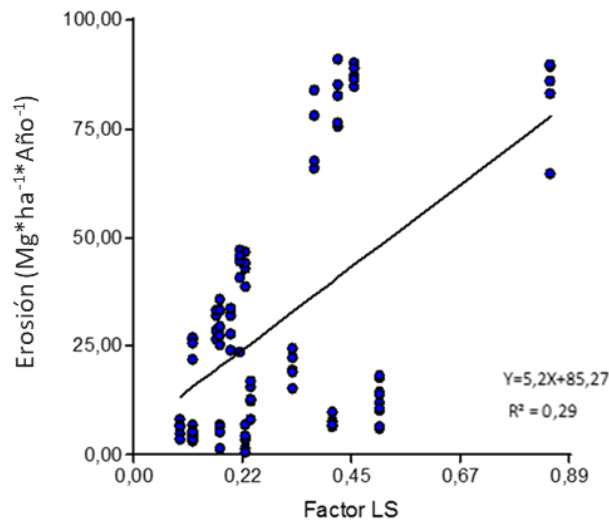


Figura 3: Regresión entre valores del factor LS y la erosión hídrica superficial ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$).

La serie Chavarría presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre los usos evaluados (Figura 4.b). Se observó que el sitio con uso Ganadería Extensiva presentó el mayor valor de erosión hídrica ($A_p = 20,23 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), debido a que posee el mayor valor de K ($0,07 \text{ Mg}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$) calculado para la serie. Los usos Bosque Nativo ($A_p = 13,35 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) y Pastura ($A_p = 8,90 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), presentaron los menores valores de A_p , diferenciándose del uso Ganadería Extensiva.

La serie Chequín presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre los usos evaluados (Figura 4.c) observándose que el uso Arroz ($A_p = 42,36 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), arrojó la mayor pérdida de suelo en comparación con el uso Ganadería Extensiva ($A_p = 30,09 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$). Se observó que el uso Arroz presentó los mayores valores de K ($0,21 \text{ Mg}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$) y LS ($0,2005$) de la serie lo que influyó en el resultado final de pérdida de suelo para el uso Arroz.

La serie Loreto presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$). Se observó que el uso Ganadería Extensiva ($A_p = 7,19 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) obtuvo el mayor valor de la serie (Figura 4.d), relacionándose directamente con el Factor LS ($0,4072$), debido a que el K que presentó este sitio fue el más bajo de la serie. Mientras que el LS fue el más alto registrado en la serie. Los usos Pastura ($A_p = 4,73 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) y Maíz ($A_p = 4,35 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), no se diferenciaron significativamente entre ellos, pero sí lo hicieron con la Ganadería Extensiva. El uso Forestación (*Eucaliptus grandis*) ($A_p = 5,91 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), no se diferenció estadísticamente del resto de los usos evaluados en la serie.

La serie Tataré presentó diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) entre los usos evaluados (Figura 4.e). Se observó que el uso Forestación (*Eucaliptus grandis*) ($A_p = 81,48 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), no se diferenció del uso Arroz ($A_p = 75,07 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$). Mientras que estos dos se diferenciaron estadísticamente del uso Ganadería Extensiva ($A_p = 40,25 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$). Observándose que el uso Forestación (*Eucaliptus grandis*) presentó el valor más alto de K ($0,22 \text{ Mg}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$) y LS ($0,4195$), atribuyendo el mayor valor de A_p de la serie.

La serie Timbo Paso presentó diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) entre los usos evaluados (Figura 4.f). Se observó que el uso Arroz ($A_p = 87,97 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$), presentó el mayor valor de A_p , frente al uso Bosque Nativo ($A_p = 30,03 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$). Observándose que el uso Arroz presentó el mayor valor de K ($0,22 \text{ Mg}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$) y LS ($0,4529$).

La serie Torres presentó diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) entre los usos evaluados (Figura 4.j). Se observó que el uso Arroz ($A_p = 29,79 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) presentó el mayor valor de A_p , mientras que el uso Ganadería Extensiva ($A_p = 25,22 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$) obtuvo el valor más bajo. Si bien el K del uso Ganadería Extensiva es mayor ($0,23 \text{ Mg}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$) que el K del uso Arroz ($0,19 \text{ Mg}\cdot\text{ha}\cdot\text{h}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$), el Factor LS del uso Arroz ($0,1776$) es mayor que el LS del uso Ganadería Extensiva ($0,1242$).

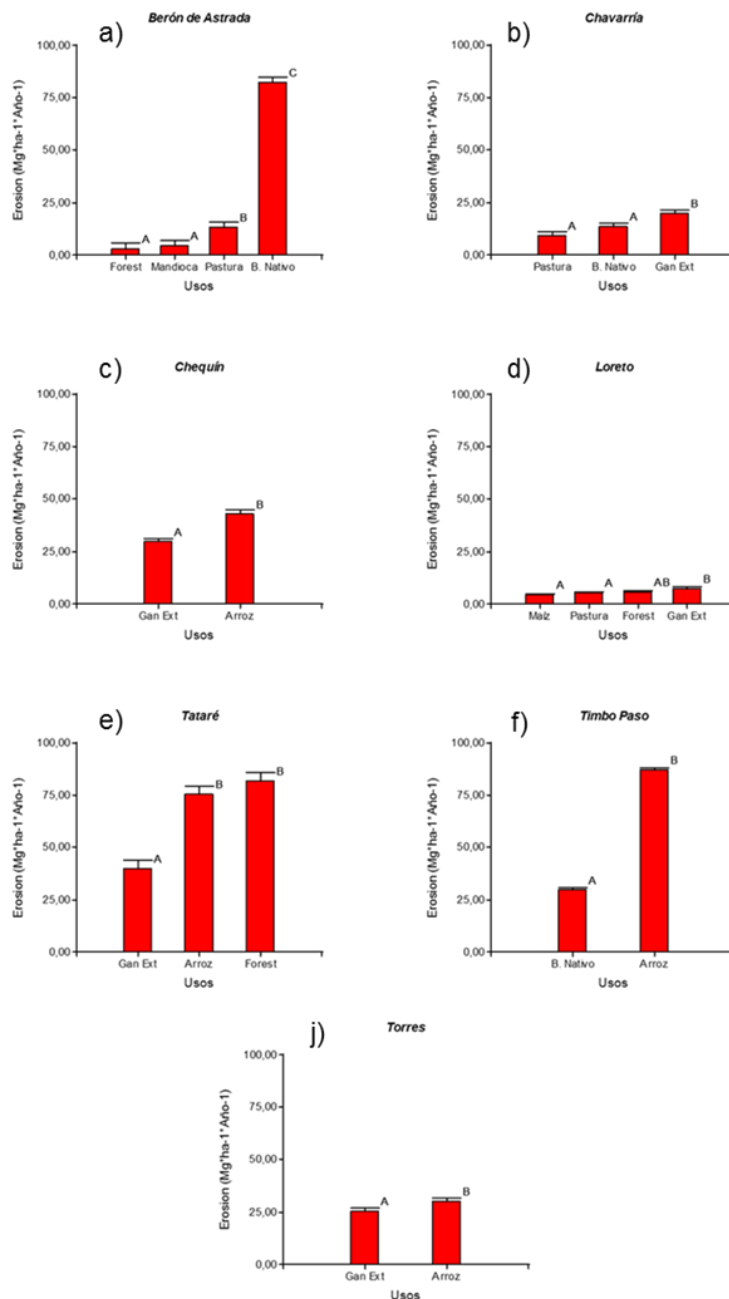


Figura 4. Análisis de la varianza, test LSD Fisher, alfa 0,05. Erosión Hídrica Potencial calculada por la EUPS, para cada serie y uso de suelo evaluado en la cuenca. a) Serie Berón de Astrada. b) Serie Chavarría. c) Serie Chequín. d) Serie Loreto. e) Serie Tataré. f) Serie Timbo Paso. j) Serie Torres. Letras diferentes indican diferencias estadísticas. (Gan Ext: Ganadería Extensiva; B. Nativo: Bosque Nativo; Forest: Forestación (*Eucalyptus grandis*); Pastura: *Brachiaria brizantha*).

La distribución de la Ap en la cuenca se observa en la Figura 5. La Tabla 4 presenta el grado y la superficie con erosión, aclarando que los valores utilizados para la representación gráfica fueron tomados de los cálculos realizados para los sitios evaluados en cuanto a serie y uso de suelo.

La clase Moderadamente Baja representa el 65,96% de la superficie de la cuenca (42161,9 ha), que posee pérdidas de suelo entre 20-50 Mg.ha⁻¹.año⁻¹.

Las áreas en las que los valores de pérdidas de suelo por erosión son nulas o consideradas con valor 0, debido a la imposibilidad de realizar el cálculo mediante la metodología propuesta en este trabajo, representan el 20,54% (3128,84 ha), perteneciendo a esta clase los cuerpos de aguas (esteros y lagunas).

La clase Moderadamente Alta con pérdidas de suelo entre 70-110 Mg.ha⁻¹.año⁻¹, ocupa un 5,6% de la superficie (3430,7 ha) en la cuenca.

La clase Baja con pérdidas de suelo entre 10-20 Mg.ha⁻¹.año⁻¹, ocupa el 4,5% de la superficie de la cuenca, significando unas 2883,5 ha.

La clase Muy Baja con pérdidas de suelo menores a 10 Mg.ha⁻¹.año⁻¹ ocupa el 2,41% de la superficie de la cuenca (1542,5 ha).

La clase Moderada con pérdidas de suelo entre 50-70 Mg.ha⁻¹.año⁻¹, ocupan el 1,19% de la superficie de la cuenca correspondiente a 765,48 ha.

Tabla 4. Clasificación de la Erosión Hídrica Potencial (Ap) en la cuenca.

Ap	Rango (Mg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)	Área(ha)	% de Ocupación
Nula	0	13128,84	20,54
Muy Baja	0-10	1542,57	2,41
Baja	10--20	2883,52	4,51
Moderadamente Baja	20-50	42161,95	65,96
Moderada	50-70	765,48	1,19
Moderadamente Alta	70-110	3430,7	5,36
Alta	>110	0	0

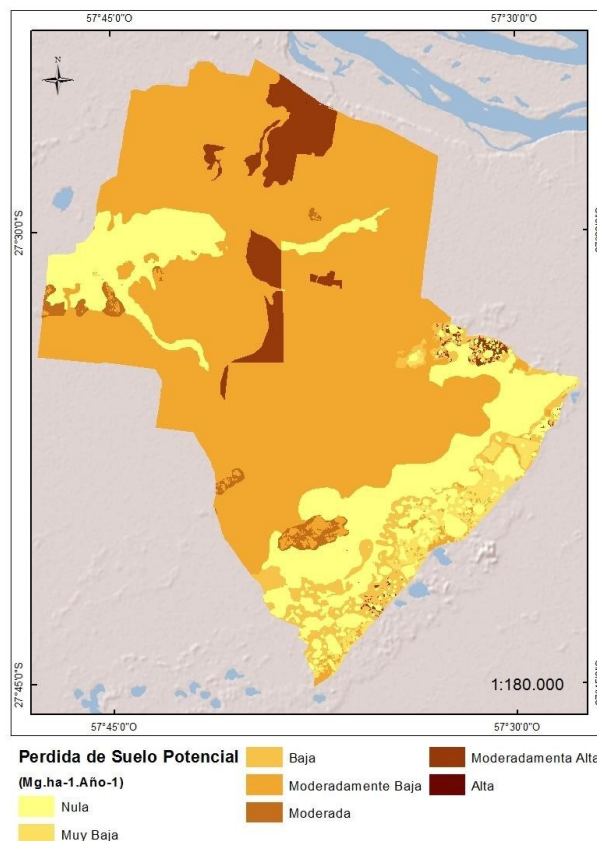


Figura 5. Erosión Hídrica Potencial (Mg. ha⁻¹.año⁻¹) en la cuenca del arroyo Santa María (Ybarra, 2019).

El producto de R.K.LS proporciona como resultado la Erosión Hídrica Potencial (A_p) del área en cuestión y, la incorporación de los factores C y P típicos de la región permite estimar la Erosión Hídrica Actual (A); para esto los diferentes factores deben ser determinados localmente por medio de experimentación (parcelas de escorrentía), con una serie relativamente larga de datos, para que se alcance significación estadística (Wischmeier y Smith, 1978). Debido a la falta de parcelas experimentales en la zona de estudio y a la débil e inexistente disponibilidad de información en la región se acudió a distintas publicaciones logrando así hallar el valor del Factor C para cada uso identificado, tomados de Marelli, 2012 e Iruiria, 2007 para los usos de suelos evaluados en la cuenca del arroyo Santa María.

La distribución espacial de la erosión actual del suelo ($A=R.K.LS.C.P$) se muestra en la Figura 6. La pérdida de suelo, la superficie afectada y grado de erosión se muestran en el Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de la Erosión Hídrica Actual (A) en la cuenca.

A	Rango ($Mg \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$)	Área (ha)	% de Ocupación
Nula	0	13128,8	20,54
Muy Baja	0-10	50652,4	79,25
Baja	10--20	89,1	0,14
Moderadamente Baja	20-50	42	0,07
Moderada	50-70	0	0
Moderadamente Alta	70-110	0	0
Alta	>110	0	0

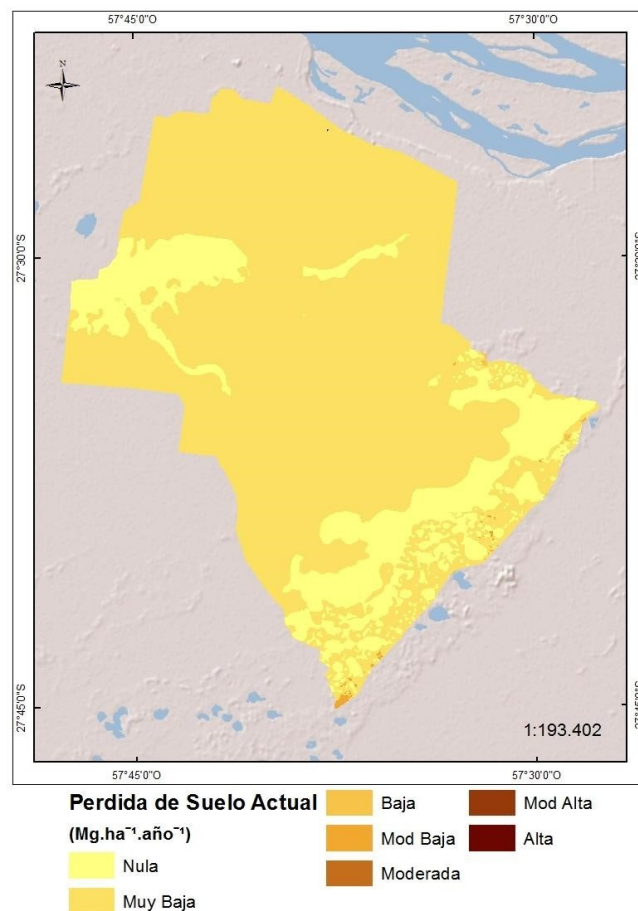


Figura 6: Erosión Hídrica Actual en ($Mg \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$) en la cuenca del arroyo Santa María (Ybarra, 2019).



En los sitios donde la Erosión Hídrica Actual no fue calculada por medio de la EUPS, se consideró como erosión nula (cuerpos de aguas y lagunas), ocupando un 20,54% de la superficie de la cuenca (13128,8 ha). La clase Muy Baja ocupa el 79,25% de la superficie de la cuenca (50652,4 ha), siendo la clase con mayor ocupación. A esta le sigue la clase Baja con 0,14% (89,1 ha). Como última clase de pérdida de suelos se encuentra la clase Moderadamente Baja con 0,07% de la superficie (42 ha). Similares valores de pérdida de suelo actual fueron modelados por Gaitan et al. (2017), para la zona de estudio.

Este tipo de resultados dan la oportunidad, a quienes desarrollan planes para el manejo de recursos naturales, de proyectar los cambios e inclusive modelarlos y evaluar su impacto antes de implementarlos, como en el manejo y desarrollo agrícola sostenible y la evaluación del riesgo de erosión para el manejo de cuencas. Las áreas agrícolas fueron asignadas con valores de C y P teniendo en cuenta los cultivos más representativos de cada región agroeconómica.

En la tabla 6 se detallan los valores de A_p y A calculados para las series y usos de suelos evaluados en la cuenca. Tomando como base valores de Factores calculados *in situ*. Donde se evidencia una relación inversa entre la cobertura, prácticas de manejo y la erosión del suelo Johnson y Blackburn (1989).

Tabla 6: Clasificación Erosión Hídrica Potencial y Actual en la cuenca del arroyo Santa María.

Series de suelos	Usos	Erosión Hídrica Potencial (Mg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)	Clasificación	Erosión Hídrica Actual (Mg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)	Clasificación
Berón de Astrada	Bosque Nativo	82,28	Mod Alta	0,082	Muy Baja
	Forestación (<i>Eucaliptus grandis</i>)	3,11	Muy Baja	0,018	Muy Baja
	Mandioca	4,52	Muy Baja	2,26	Muy Baja
	Pastura (<i>Brachiaria brizantha</i>)	13,03	Baja	0,039	Muy Baja
Chavarría	Bosque Nativo	13,44	Baja	0,013	Muy Baja
	Ganadería Extensiva	19,88	Baja	0,39	Muy Baja
	Pastura (<i>Brachiaria brizantha</i>)	9,31	Muy Baja	0,02	Muy Baja
Chequín	Arroz	43,13	Mod Baja	0,517	Muy Baja
	Ganadería Extensiva	29,8	Mod Baja	0,596	Muy Baja
Loreto	Forestación (<i>Eucaliptus grandis</i>)	5,74	Muy Baja	0,034	Muy Baja
	Ganadería Extensiva	7,46	Muy Baja	0,149	Muy Baja
	Maíz	4,18	Muy Baja	1,25	Muy Baja
	Pastura (<i>Brachiaria brizantha</i>)	5,13	Muy Baja	0,015	Muy Baja
Tataré	Arroz	75,62	Mod Alta	0,9	Muy Baja
	Forestación (<i>Eucaliptus grandis</i>)	81,99	Mod Alta	0,491	Muy Baja
	Ganadería Extensiva	40,23	Mod Baja	0,8	Muy Baja
Timbo Paso	Arroz	87,22	Mod Alta	1,04	Muy Baja
	Bosque Nativo	29,55	Mod Baja	0,029	Muy Baja
Torres	Arroz	30,06	Mod Baja	0,036	Muy Baja
	Ganadería Extensiva	25,13	Mod Baja	0,5	Muy Baja

CONCLUSIÓN

Los cálculos de la Erosión Hídrica Potencial (Ap) para cada serie y uso de suelo en la cuenca indicaron que el 73% de la variación de la Ap está explicada por los valores de la erodabilidad del suelo (Factor K), mientras que los valores del grado y longitud de pendiente (Factores L y S) explican el 54% de Ap. Se comprobó que existe una relación directa y lineal entre aumentos de la Erosión Hídrica Potencial (Ap) y aumentos de Factor K ($R^2=0,53$), estos aumentos del Factor K, están explicados en un 53% por el contenido de limo del suelo en una relación lineal con el Factor K. Lo que nos da la posibilidad a *priori* de estimar tasas de erosión de una misma combinación suelo-topografía-ubicación geográfica, bajo diferentes usos y manejos. El cálculo de la Erosión Hídrica Actual para cada serie y uso de suelo evaluado permitió evidenciar que el 79% de la cuenca del arroyo Santa María presenta pérdidas de suelos muy bajas (inferiores a $10 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$).

Estos resultados permitieron generar una base de datos georreferenciada para la cuenca. Información útil e imprescindible, a partir de la cual se pueden hacer proyecciones de la erosión hídrica de los suelos en distintos escenarios.

Los mapas generados son herramientas útiles para los organismos provinciales encargados de gestionar el uso del territorio. Estos mapas podrían contribuir a generar políticas públicas basadas en la implementación de buenas prácticas agrícolas tendientes al ordenamiento y al manejo sustentable de los suelos.

REFERENCIAS

- Casas, R. y Albarracin, G. (2015). El Deterioro del Suelo y del Ambiente en la Argentina. FECIC. Buenos Aires. 456 pp.
- Condori Tintaya, F., Pino Vargas, E., y Tacora Villegas, P. (2022). Pérdida de suelos por erosión hídrica en laderas semiáridas de la subcuenca Cairani-Camilaca, Perú. *Idesia (Arica)*, 40: 7-15. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292022000200007>
- Escobar, E., Ligier, H., Melgar, R., Matteio, R. y Vallejos, O. (1996). Mapa de Suelos de la provincia de Corrientes. 1:500.000. Convenio MAGIC - INTA. Publicación Técnica: EEA INTA Corrientes. Corrientes. 433 pp.
- Gaitan, J., Navarro, M., Vuegen, L., Pizarro, M., Carfagno, P., y Rigo, S. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. Ediciones INTA. Buenos Aires. 65 pp.
- Gaspari, F., Senisterra, G., Delgado, M., Rodríguez Vagaría, A. y Besteiro, S. (2009). Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. EDULP. La Plata. 321 pp.
- Irurtia, C., Cruzate, G. y Gaspari, F. J. (2007). Aplicación de la USLE en la provincia de Buenos Aires para establecer tasas de erosión hídrica: Guía de divulgación técnica 1ª ed. Editores: INTA-UNLP. Buenos Aires. 25 pp.
- Johnson, C. y Blackburn, W. (1989). Factor contributing to sagebrush rangeland soil loss. *Transactions of the ASAE*. 32: 155-160.
- Llamas, J. (1993). Hidrología general: Principios y aplicaciones. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. España. 635 pp.
- Ligier, H., Vallejos, O., Pucca, R. y Matteio, H. (1998). La erosión hídrica en la provincia de Corrientes. Publicación Técnica: EEA INTA Corrientes. Corrientes. 36 pp.
- Marelli, H. (2012). Estimación del potencial erosivo en la provincia de Córdoba a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE). Publicación: EEA INTA Marcos Juárez. Córdoba.
- Montes, L., Uribe, E. y García, E. (2011). Mapa Nacional de erosión potencial. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 2: 5-17.
- Rodríguez, F. R. (2019). Calibración del factor K/USLE en una unidad de suelo y dos condiciones de uso en Aguascalientes. Repositorio Institucional – Pontificia Universidad Autónoma de Aguascalientes. México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - SEMARNAT. (2013). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental. México. 360 pp.
- Van Lynden, G. y Oldeman, L. (1997). The assessment of the human-induced soil degradation in South and Southeast Asia. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen. 35 pp.
- Wischmeier, W. y Smith, D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. The USDA Agricultural Handbook No. 537. Maryland. 58 pp.
- Ybarra, D. (2019). Evaluación y Categorización de la Degradación de Suelos por Intervención Antrópica en la Cuenca del Arroyo Santa María, Provincia de Corrientes. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires.



- Casas, R. y Albarracin, G.** (2015). El Deterioro del Suelo y del Ambiente en la Argentina. FECIC. Buenos Aires. 456 pp.
- Condori Tintaya, F., Pino Vargas, E., y Tacora Villegas, P.** (2022). Pérdida de suelos por erosión hídrica en laderas semiáridas de la subcuenca Cairani-Camilaca, Perú. *Idesia (Arica)*, 40: 7-15. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292022000200007>
- Escobar, E., Ligier, H., Melgar, R., Matteio, R. y Vallejos, O.** (1996). Mapa de Suelos de la provincia de Corrientes. 1:500.000. Convenio MAGIC - INTA. Publicación Técnica: EEA INTA Corrientes. Corrientes. 433 pp.
- Gaitan, J., Navarro, M., Vuegen, L., Pizarro, M., Carfagno, P., y Rigo, S.** (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. Ediciones INTA. Buenos Aires. 65 pp.
- Gaspari, F., Senisterra, G., Delgado, M., Rodríguez Vagaría, A. y Besteiro, S.** (2009). Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. EDULP. La Plata. 321 pp.
- Irurtia, C., Cruzate, G. y Gaspari, F. J.** (2007). Aplicación de la USLE en la provincia de Buenos Aires para establecer tasas de erosión hídrica: Guía de divulgación técnica 1ª ed. Editores: INTA-UNLP. Buenos Aires. 25 pp.
- Johnson, C. y Blackburn, W.** (1989). Factor contributing to sagebrush rangeland soil loss. *Transactions of the ASAE*. 32: 155-160.
- Llamas, J.** (1993). Hidrología general: Principios y aplicaciones. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. España. 635 pp.
- Ligier, H., Vallejos, O., Perucca, R. y Matteio, H.** (1998). La erosión hídrica en la provincia de Corrientes. Publicación Técnica: EEA INTA Corrientes. Corrientes. 36 pp.
- Marelli, H.** (2012). Estimación del potencial erosivo en la provincia de Córdoba a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE). Publicación: EEA INTA Marcos Juárez. Córdoba.
- Montes, L., Uribe, E. y García, E.** (2011). Mapa Nacional de erosión potencial. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 2: 5-17.
- Rodríguez, F. R.** (2019). Calibración del factor K/USLE en una unidad de suelo y dos condiciones de uso en Aguascalientes. Repositorio Institucional – Pontificia Universidad Autónoma de Aguascalientes. México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - SEMARNAT.** (2013). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental. México. 360 pp.
- Van Lynden, G. y Oldeman, L.** (1997). The assessment of the human-induced soil degradation in South and Southeast Asia. International Soil Reference and Information Centre. Wageningen. 35 pp.
- Wischmeier, W. y Smith, D.** (1978). Predicting rainfall erosion losses. The USDA Agricultural Handbook No. 537. Maryland. 58 pp.
- Ybarra, D.** (2019). Evaluación y Categorización de la Degradación de Suelos por Intervención Antrópica en la Cuenca del Arroyo Santa María, Provincia de Corrientes. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires.