

Utilización de SIG para la aplicación del modelo MUSLE en la estimación de la producción de sedimentos en Aldea Santa María, Entre Ríos

Roxana Guadalupe Ramírez¹, Marcelo Germán Wilson², Marta Susana Marizza³ y Emmanuel Gabioud⁴

¹ Ingeniera Civil. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Paraná.
E-mail: roxanaguadaluperamirez@yahoo.com.ar

² Ingeniero Agrónomo. Doctor en Ciencias de la Tierra. Grupo Recursos Naturales INTA EEA Paraná. E-mail: wilson.marcelo@inta.gob.ar

³ Dra. CENEHA. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral. E-mail: martasmarizza@hotmail.com

⁴ Ingeniero Agrónomo. Grupo Recursos Naturales INTA EEA Paraná.
E-mail: gabioud.emmanuel@inta.gob.ar

Resumen. La problemática de la erosión hídrica en la provincia de Entre Ríos constituye un factor de gran importancia en el uso y manejo de la tierra, afectando un elevado porcentaje de la misma. El Sitio Piloto de estudio se encuentra enmarcado en la Aldea Santa María, que es un área de conservación de suelos obligatoria y donde prevalece la actividad agrícola-ganadera. En este trabajo se presenta una metodología para la estimación de la producción de sedimentos vinculando Sistemas de Información Geográfica con un modelo de lluvia escurriente para la estimación de la producción de sedimentos. Los resultados indican una potencial degradación de los suelos y la necesidad de una actuación para la prevención y control de la erosión.

Palabras claves: Erosión hídrica; modelación hidrológica; pérdida de suelos; GIS.

1 Introducción

La erosión hídrica es uno de los principales limitantes de la producción agropecuaria de Entre Ríos debido al paisaje ondulado y la baja permeabilidad de los suelos en gran parte del territorio, lo que le confiere una alta susceptibilidad. Se ha demostrado que la erosión hídrica en la provincia afecta una superficie de 3.939.954 ha, lo que representa casi el 50% de la superficie de tierra firme, siendo Diamante, Paraná, Nogoyá, Victoria y Uruguay los Departamentos más afectados [1].

A partir de las investigaciones, desarrollos tecnológicos e innovaciones realizadas en el INTA, el Gobierno provincial y la UNER, como así también el aporte de la comunidad a través de la visualización de los problemas originados por la erosión hídrica, se sancionó una Ley que establece un plan de manejo conservacionista para disminuir los efectos de la erosión hídrica. La Ley Provincial N° 8318 de Conservación de Suelos instrumentada y vigente, es una característica distintiva de Entre Ríos. Esta Ley prevé el acceso a estímulos a productores agropecuarios otorgándoles una reducción diferencial en el valor del impuesto inmobiliario rural como una compensación a promover las buenas prácticas para la conservación y manejo del suelo. Uno de los primeros lugares en adoptar este conjunto de técnicas alternativas para la reducción de la degradación de los suelos, fue la Aldea Santa María.

El 4 de julio de 1995 el Ministerio de Gobierno, Justicia y Educación de Entre Ríos declaró según decreto N° 2697 a la Aldea Santa María como Capital Provincial de la Conservación del Suelo y como área de conservación y manejo de suelos obligatoria [2], con un alcance de 10.040 ha.

Ante los desafíos futuros de la conservación de los recursos naturales, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta de suma importancia para el análisis, el diseño, la modelización e implementación de planes de manejo tendientes a conservar dichos recursos del ambiente. El carácter multidisciplinar de estas aplicaciones permite elaborar una gran variedad de modelos que representen tanto situaciones actuales como futuras, enriqueciendo así la gestión y toma de decisiones.

El desafío del sector agropecuario por lo tanto, reside en compatibilizar la producción con la conservación del ambiente y los recursos naturales, ya que la sociedad en general, confía en los productores agropecuarios una doble responsabilidad: el uso de la tierra y la protección de los bienes y los servicios ecosistémicos que de ella derivan. Para protegerlos, se deberán instrumentar políticas públicas que permitan a los productores ser protagonistas del cambio y la sociedad deberá contribuir, premiando a aquellos que mantengan dichas prácticas en el tiempo.

El objetivo del presente trabajo consiste en estimar la pérdida de suelo que se registra en el área de conservación de suelos obligatoria del Sitio Piloto que comprende a la Aldea Santa María. La metodología contempla el uso de SIG para determinar un diagnóstico de la degradación de suelos a partir de la vinculación de un modelo de pérdida de suelo y un modelo lluvia escorrentía [3]. Los resultados podrán ayudar a determinar si la degradación por erosión hídrica incide sobre la sustentabilidad del sistema de estudio.

2 Materiales y Métodos

2.1 Descripción General del Área de Estudio

La Aldea Santa María se encuentra ubicada en el Distrito Tala, departamento Paraná, situado aproximadamente a 70 km de Paraná, capital de la provincia de Entre Ríos. El área de estudio, de 9820 ha, se encuentra comprendida entre $31^{\circ} 39' 28,97''$ y $31^{\circ} 36' 47,12''$ Latitud Sur y $60^{\circ} 3' 58,10''$ y $59^{\circ} 55' 43,34''$ Longitud Oeste. La ubicación de la zona de análisis se observa en la Figura 1.

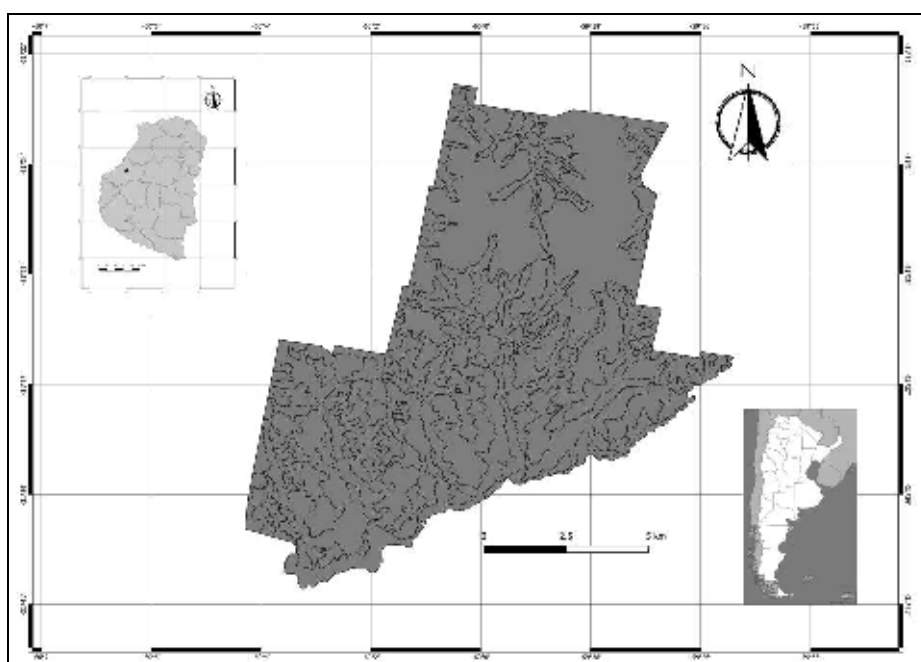


Fig. 1. Ubicación geográfica del sitio piloto que comprende a la Aldea Santa María en la provincia de Entre Ríos.

Esta región registra un clima templado húmedo de llanura, que es favorable para la práctica de cultivos de cereales, oleaginosas y forrajes de secano. La precipitación media anual es de aproximadamente 1200 mm. El régimen térmico es templado; la temperatura media diaria anual es de $18,5^{\circ}\text{C}$ y varía entre $25,0^{\circ}\text{C}$ en enero y $12,0^{\circ}\text{C}$ en julio, con una amplitud térmica de $13,0^{\circ}\text{C}$. El período más lluvioso es de septiembre a abril, con un registro del 83 % del total anual de las precipitaciones [4].

Los bosques nativos del centro-norte de Entre Ríos, pertenecen a la provincia fitogeográfica del Espinal, correspondiente al Dominio Chaqueño [5]. Actualmente, el área de la Aldea Santa María registra una superficie de 3.273 ha de bosques nativos en donde se pueden identificar distintas categorías de bosques desde renovales, bos-

ques prístinos, sucesiones secundarias y selvas en galerías (Lucas Fanoni, comunicación personal).

Los suelos del área se agrupan en los siguientes órdenes: Alfisoles, Molisoles y Vertisoles. El 69 % de la superficie de los suelos pertenecen al orden Vertisol, le siguen en importancia los Molisoles con 19 % de la superficie y los Alfisoles con el 12 %. La mayoría de estos suelos presentan algún grado de susceptibilidad a los procesos erosivos [4].

Los patrones topográficos prominentes del departamento Paraná dan origen a una amplia densidad de cursos de agua. Este relieve se caracteriza por estar formado por una gran sucesión de lomadas que se encuentran separadas por valles anchos y aplanados, que adicionado a las características de intensidad-duración que presentan las lluvias dan origen al desarrollo de una compleja e importante red hidrográfica. La Aldea Santa María pertenece a la superficie hidrográfica del arroyo Las Conchas, que tiene sus nacientes en las estribaciones australes de la cuchilla de Montiel; sus aguas escurren en la dirección sur-suroeste y se vierten al río Paraná a unos pocos kilómetros al norte de la ciudad de Paraná, capital de la provincia de Entre Ríos.

2.2 Determinación de los factores intervinientes en la ecuación MUSLE mediante SIG y el modelo HEC HMS

La metodología utilizada para determinar la producción de sedimentos del área de estudio consiste en integrar el modelo hidrológico HEC HMS [7] para la determinación de la escorrentía y la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (MUSLE) [3] para la evaluación de la producción de sedimentos, en el medioambiente del SIG.

Esta metodología se aplicó sobre el área de estudio, Aldea Santa María, en el Departamento Paraná. Se dispuso del Modelo Digital del Terreno (MDT) que el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey) tiene disponible para América del Sur (formatos grid 90 m de resolución, coordenadas geográficas con datum WGS84), se hizo la proyección al sistema oficial de proyección plana POSGAR94-Faja 5; y los mapas georeferenciados de la región en estudio. Todo el procedimiento se realizó con el software ARCGIS 10.2 [6].

La ecuación MUSLE, permite estimar la pérdida de suelo generada a partir de un evento de precipitación aislado. La cual expresa la producción de sedimentos en función del máximo caudal instantáneo (Q_{TR}) y del volumen de escorrentía (V_{TR}) que se produce en una tormenta.

La ecuación del modelo MUSLE, es la siguiente:

$$Y = 11,8.(V_{TR} Q_{TR})^{0,56} K.LS.C.P \quad (1)$$

Donde:

Factor $(V_{TR} Q_{TR})^{0,56}$: denominado factor de escorrentía, se obtiene a partir de modelación hidrológica considerando tormentas de proyecto para la zona de análisis

empleando el modelo HEC-HMS [7], obteniendo Q_{TR} : máximo caudal instantáneo y el V_{TR} : volumen de escorrentía mencionado anteriormente.

Factor K: denominado factor de erodabilidad del suelo, se obtiene del procesamiento del mapa de suelos del sitio piloto de estudio.

Factor LS: denominado factor topográfico, se consigue a partir del análisis del MDT del sitio en estudio y la aplicación de diferentes algoritmos, con ayuda del ARCGIS [6].

Factor C: denominado factor de cobertura y manejo, se determina a partir de los mapas de las áreas ecológicas que se encuentran inscriptas en el sitio piloto.

Factor P: denominado factor de prácticas de conservación, cuyos valores dependen del escenario planteado. En este trabajo se considerará un primer escenario con prácticas conservacionistas tales como la sistematización de tierras y la construcción de terrazas -cultivadas o no cultivadas- para el control de la erosión hídrica, asignándole el valor a P de 0,4 [9]; y otro escenario sin prácticas de conservación de suelos, asignando a P el valor 1 (uno).

Los valores de V_{TR} como de Q_{TR} , se obtienen a partir de la modelación hidrológica en donde se adoptan las curvas de intensidad – duración - frecuencia (IDF) correspondientes al Departamento Paraná [10]. En éste modelo, las intensidades se ajustan a una expresión Sherman de cuatro parámetros, según la ecuación (2):

$$i = \frac{k \cdot T_r^m}{(d + c)^n} \quad (2)$$

Donde:

i: Intensidad de precipitación [mm/h]; T_r : Período de retorno [años]; d: Duración de las precipitaciones [minutos]

k, m, n y c: Parámetros que se determinan para cada localidad en base a un análisis de regresión lineal múltiple.

Para el departamento Paraná se emplearon en el cálculo los parámetros adimensionales obtenidos de la regresión lineal múltiple de Gumbel, los cuales se detallan a continuación:

$$m = 0,23; n = 0,69; k = 555,7 \text{ y } c = 6$$

$$i = \frac{555,7 \cdot (T_r)^{0,23}}{(d + 6)^{0,69}} \quad (3)$$

A partir de la ecuación (3), se generan los hietogramas acumulados para las recurrencias T_r : 2, 10, 25, 50 y 100 años, considerando una tormenta de 24 horas de duración.

La erodabilidad de los suelos (K) se corresponde con la susceptibilidad de éstos frente a la acción de agentes erosivos. Es una característica inherente a los suelos que dependen de la acción individual y/o combinada de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, como también del manejo de los mismos.

Para este estudio se tuvieron en cuenta los datos extraídos del Plan Mapa de Suelos correspondiente al área de jurisdicción de la Aldea Santa María, Departamento Paraná [4] en la Provincia de Entre Ríos, República Argentina.

El factor topográfico (LS) se refiere al efecto combinado de la longitud y el gradiente de la pendiente. Se obtiene multiplicando el subfactor longitud, L, por el subfactor gradiente, S. El subfactor L (longitud de la pendiente) representa el efecto de la longitud de la pendiente en la erosión (adimensional). Es la razón entre la pérdida de suelo en la longitud de pendiente en campo con respecto a la longitud de una parcela de 22,13 m en el mismo tipo de suelo y gradiente. La longitud de la pendiente es la distancia desde el origen de la escorrentía superficial a lo largo de su vía de flujo al punto donde se concentra el flujo o donde se deposita el suelo desprendido. El subfactor S es el grado de inclinación de la pendiente. Representa los efectos de la inclinación en la erosión. La pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente.

El subfactor L y el subfactor S generalmente se consideran en conjunto y se definen como factor topográfico al producto LS, que es función de la pendiente y la longitud del terreno. Cuanto mayor sea la longitud de la pendiente, mayor es la cantidad de escorrentía acumulada. También, cuando más pronunciada es la pendiente del terreno, mayor será la velocidad de la escorrentía, lo que contribuye a una mayor erosión.

Para incorporar el impacto de la convergencia del flujo, se sustituye la longitud de la pendiente por el área contribuyente pendiente arriba por unidad de ancho de curva [11] [12] [13].

El factor modificado de LS se expresa en la ecuación (4):

$$LS = \left(\frac{A}{22,13} \right)^m \left(\frac{\text{sen}\theta}{0,0896} \right)^n \quad (4)$$

Donde A es el área contribuyente pendiente arriba por unidad de ancho, θ es el ángulo de pendiente más inclinado; m y n son parámetros que dependen del tipo de flujo. Valores típicos para m, están en el rango de 0,4 a 0,6 y para n, están en el rango de 1,0 a 1,4 según el tipo predominante de flujo. Los valores más bajos de m y n deben ser utilizados para las zonas con dispersión de flujo, así como las zonas cubiertas de vegetación. Los valores más altos se deben utilizar para las zonas con un tipo de flujo más turbulento causado por los surcos existentes.

El factor de cubierta vegetal y manejo (C), se asocia a las pérdidas de tierra ligadas a la cubierta vegetal del suelo, las cuales se ven reducidas cuando el suelo está cubierto por una vegetación permanente, bosques o prados, y por el contrario, son mayores cuando el suelo está desnudo, particularmente, si ha sido labrado para cultivos. En este caso se determinará a partir del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado

(NDVI) [14]. Este índice muestra alta correlación con la biomasa sobre el terreno y varía entre -1 y 1. Se utilizaron para estimarlo imágenes LANDSAT TM 7 del 31 de agosto de 2015. A partir de las mismas y para la zona de análisis, se calculó el NDVI con la ecuación (5):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}} \quad (5)$$

Donde:

NIR: banda 4 (infrarrojo cercano); R: banda 3 (rojo).

La ecuación (6) vincula el factor C y el NDVI:

$$\text{Factor C} = \frac{(1 - \text{NDVI})}{2} \quad (6)$$

Dado que la erosión hídrica es mucho más activa que el proceso de meteorización ya que provoca la alteración y disgregación de los horizontes superficiales del perfil edafológico del suelo -algunos en mayor grado que otros- [15], se considera que para obtener la pérdida de suelos por erosión hídrica a lo largo de un año se deben tener en cuenta todas las tormentas ocurridas a lo largo de ese año [16], tal como se expresa en la ecuación (7):

$$A_s = \frac{V_a(0,01Y_{100} + 0,01Y_{50} + 0,02Y_{25} + 0,06Y_{10} + 0,4Y_2)}{(0,01V_{100} + 0,01V_{50} + 0,02V_{25} + 0,06V_{10} + 0,4V_2)} \quad (7)$$

Donde:

As: Producción de sedimentos anual, [Toneladas]

Va: Producción anual promedio de escorrentía, [m³]

Yi: Producción de sedimentos para i años de recurrencia, [Toneladas]

Vi: Escorrentía para los i años de recurrencia, [m³]

Siendo i: 2, 10, 25, 50 y 100 años

La metodología utilizada para estimar un mapa de producción anual de sedimentos del área de estudio consiste en determinar los factores K, LS y C a partir de las herramientas SIG vinculado con el factor de escorrentía resultante de la modelación hidrológica, utilizando la ecuación (7) y el álgebra de mapas, con una resolución de 90 m.

3. RESULTADOS

3.1 Mapas de los factores K, C y LS

En el área de estudio existen varios tipos de suelos y cada uno de ellos tiene su respectivo factor K, el mapa resultante se ha obtenido a partir de una ponderación por áreas y se puede ver en la Figura 2 izquierda. A la derecha se presenta el mapa del factor C.

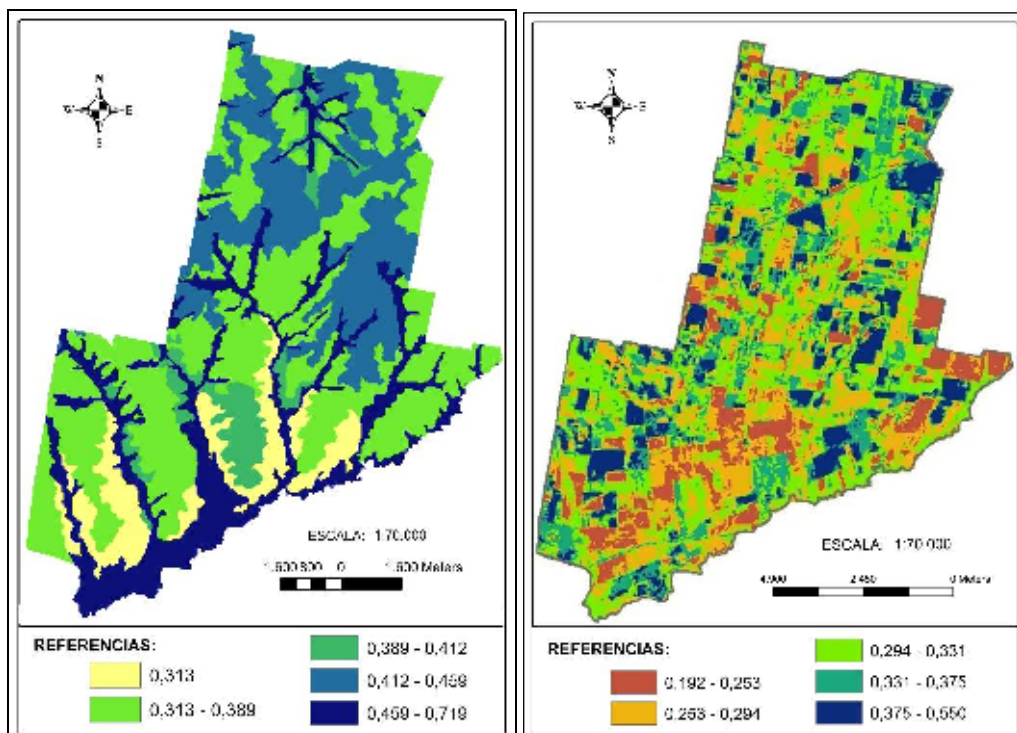


Fig. 2. A la izquierda mapa del factor K, a la derecha mapa del factor C.

El mapa del factor topográfico, LS, se obtuvo a partir de la ecuación (4), en donde se establece una relación entre longitud y pendientes del terreno obtenidos a partir del MDT. El factor LS resulta de multiplicar el subfactor longitud, L, por el subfactor pendiente, S [17] y se observa en la Figura 3.

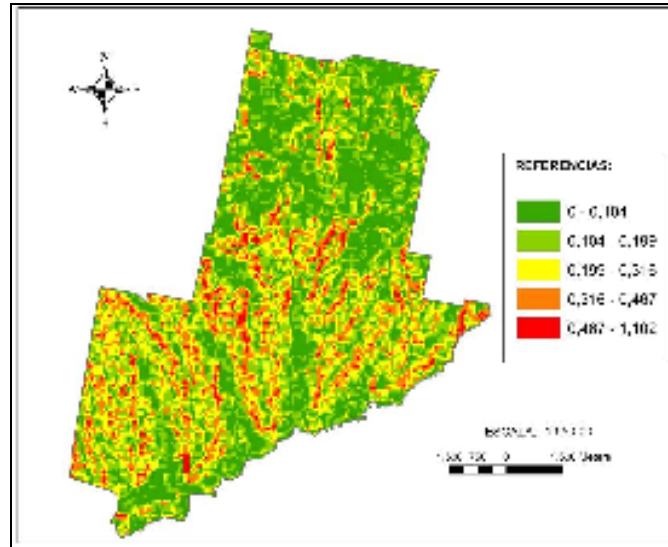


Fig. 3. Mapa del factor topográfico LS.

3.2 Determinación del factor de escorrentía.

De acuerdo al modelo de precipitaciones intensas adoptado y considerando una duración de 24 hs, se obtienen los valores de precipitaciones acumulados que se muestran a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Hietogramas acumulados. Tormentas de 24 horas de duración [mm].

TR [años]	2	10	25	50	100
1h	2,40	3,48	4,29	5,03	5,90
2h	5,19	7,51	9,27	10,88	12,76
3h	8,56	12,39	15,30	17,95	21,05
4h	12,95	18,76	23,16	27,16	31,85
5h	19,74	28,59	35,29	41,39	48,55
6h	55,93	80,99	99,99	117,27	137,54
7h	66,07	95,67	118,11	138,53	162,47
8h	71,35	103,32	127,55	149,60	175,45
9h	75,15	108,82	134,35	157,57	184,80
10h	78,20	113,23	139,79	163,95	192,29
11h	80,77	116,96	144,40	169,36	198,63

12h	83,03	120,22	148,42	174,08	204,16
13h	85,15	123,29	152,22	178,53	209,38
14h	87,16	126,21	155,81	182,75	214,33
15h	89,07	128,98	159,24	186,76	219,03
16h	90,90	131,62	162,50	190,59	223,53
17h	92,65	134,15	165,62	194,25	227,82
18h	94,33	136,58	168,62	197,77	231,95
19h	95,94	138,92	171,51	201,15	235,92
20h	97,49	141,17	174,29	204,41	239,74
21h	99,00	143,34	176,97	207,56	243,43
22h	100,45	145,45	179,57	210,61	247,01
23h	101,86	147,49	182,09	213,56	250,47
24h	103,22	149,46	184,53	216,42	253,83

La aplicación del modelo HEC-HMS [7] se basó en un modelo de cuenca obtenido sobre el sitio piloto de la Aldea Santa María sobre la base del MDT, aplicando los modelos meteorológicos correspondientes a las precipitaciones de la Tabla 1.

Se obtuvieron los hidrogramas de crecida de donde se desprenden los valores de Volumen de escorrentía (V_{TR}) y caudal pico (Q_{TR}) para recurrencias $T= 2, 10, 25, 50$ y 100 años, obteniéndose los respectivos valores del factor de escorrentía para cada una de las recurrencias consideradas, tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados del modelo hidrológico HEC-HMS que determinan el factor de escorrentía.

TR (años)	Q_{TR} [m^3/s]	V_{TR} [m^3]	$(V_{TR} Q_{TR})^{0,56}$
2	282,9	6458000	153663,02
10	479,5	10635700	273042,74
25	632,1	13892500	370166,46
50	773,0	16886100	462164,90
100	939,9	20424600	573603,40

Finalmente aplicando la ecuación (7) y mediante el álgebra de mapas se obtuvo la producción anual de sedimentos para los dos escenarios planteados de prácticas de conservación. Como se observa en la Figura 4, se ha establecido un rango de pérdidas de suelo que permite compararlo con la clasificación de FAO [18].

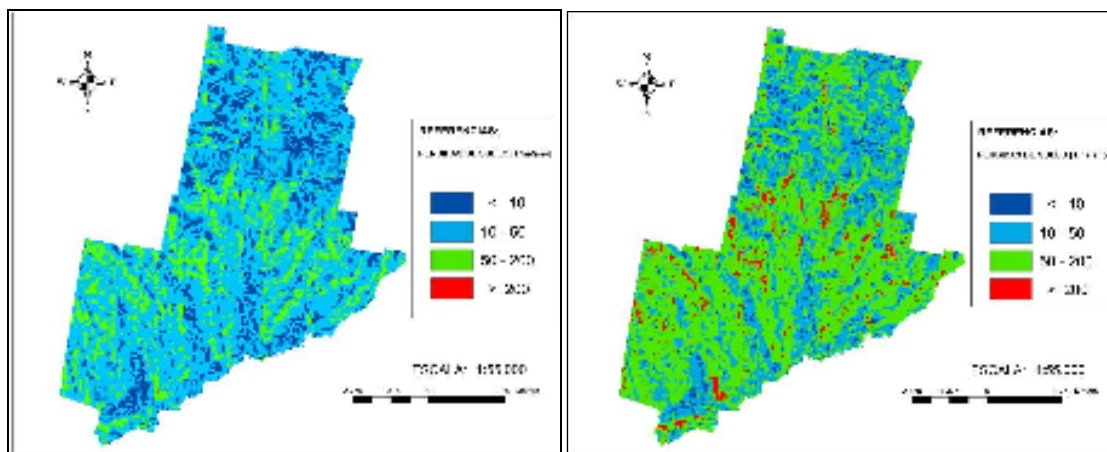


Fig. 4. Mapa de producción anual de sedimentos en el sitio piloto Aldea Santa María aplicando prácticas conservacionistas (izquierda) $P = 0,4$ y sin prácticas de conservación de suelos (derecha) $P = 1$.

Tabla 3. Clasificación del grado de degradación por erosión hídrica establecido por la FAO [18].

Grado de Degradación	Pérdidas de Suelo	
	T/ha/año	Mn/año
Ninguna o Ligera	< 10	< 0,6
Moderada	10 – 50	0,6 – 3,3
Alta	50 – 200	3,3 – 13,3
Muy Alta	> 200	> 13,3

Comparando los mapas de la Figura 4 puede observarse claramente los beneficios de las prácticas conservacionistas. Para $P = 0,4$, el 17 % del área no presenta erosión, el 68 % presenta degradación moderada y un 15 % corresponde a degradación alta, en particular en el centro del sitio piloto, más precisamente en aquellas áreas que bordean a los cursos de agua natural. En cambio para $P = 1$, donde no se aplican las prácticas conservacionistas se observa sólo un 4 % del área sin erosión, el resto de la superficie está afectada por degradación moderada y alta.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la integración de los SIG con modelos numéricos de predicción de escorrentía y de erosión permiten estimar la

pérdida de suelo en el área piloto. El uso del SIG, además, facilita la visualización de las zonas afectadas por diversos grados de degradación.

La metodología, al aplicarse en el medioambiente del SIG permite por un lado, implementar el MDT del área de estudio para su posterior modelación hidrológica, como así también la determinación de los parámetros intervinientes en el cálculo de la erosión hídrica, pudiéndose aplicar a otras áreas con disponibilidad de datos necesarios

Los mapas resultantes proporcionan información acerca de una medida de la degradación ambiental permitiendo comparar y determinar aquellas áreas en las que aún existen necesidades de actuación para la prevención y control de la erosión.

En el área de estudio, el uso de la tierra está destinado a las actividades agrícolas ganaderas. Si bien, tiempo atrás se produjo un deterioro notable en las condiciones físicas de los suelos por labranzas inadecuadas, se pretende que con la implementación de prácticas conservacionistas, tales como la sistematización de tierras y la construcción de terrazas con la incorporación de canales colectores para la evacuación hídrica hacia los cursos naturales de agua, disminuyan los procesos de degradación.

Asimismo, se debe destacar que los resultados deberán contrastarse con datos de campo obtenidos a partir de cuencas experimentales o estableciendo puntos de control para medir las pérdidas de suelos. Por lo que se sugiere identificar los cursos naturales de agua y analizar cada una de las salidas de manera independiente y ajustar cada uno de los parámetros que intervienen en las ecuaciones, a la realidad del sitio piloto de estudio. Por otro lado se recomienda llevar a cabo la sistematización de tierras mediante la incorporación del uso de terrazas reservorio, con el cual se pretende reducir la erosión hídrica y beneficiar la biodiversidad del ecosistema como una alternativa a la degradación de los suelos.

5. Agradecimientos

El trabajo se realizó en el marco del Proyecto GEF3623 (PNUD ARG/10/G49-PNUMA 4B85) “Incentivos para la Conservación de Servicios Ecosistémicos de Importancia Global en la Argentina”, ejecutado en forma conjunta por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, el INTA y el gobierno provincial a través de su Sitio Piloto Entre Ríos. El presente trabajo está enmarcado en la Tesis Doctoral en Ingeniería de la UNER, de la Ing. Roxana Ramírez.

Referencias

1. Sasal, M.C.; Wilson, M.G.; Bedendo, D.J. y G. Schulz. El Deterioro del Suelo y del Ambiente en la Argentina (Casas, R. y G. Albarracín, eds.). Capítulo Provincia de Entre Ríos. PROSA, FECIC, INTA. (2015). 111-120. ISBN 978-950-9149-39-7.
2. Gabioud, E.A.; Oszust, J.D.; Wilson, M.G.; Zaccagnini, M.E.; M.C. Sasal, Calamari, N.C. y S. Dardanelli. Caracterización ambiental del sitio piloto “Aldea Santa María” (Anexo 1) En:

- (Zaccagnini, M.E.; Wilson, M.G. y J.D. Oszust, eds.; 95 pp) Manual de buenas prácticas para la conservación del suelo, la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos. Area piloto Aldea Santa María. 1ª. Edición. Programa Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación; INTA. Bs. As. (2014). pp 77-83. ISBN 978-987-1560-55-4.
3. Williams, J. y H. Berndt. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. *Trans. ASAE*. Vol. 20 (6), (1977):1100-1104.
 4. Plan Mapa de Suelos. Área de jurisdicción de la Aldea Santa María, Departamento Paraná, Provincia de Entre Ríos. Acuerdo complementario del convenio INTA – Gobierno de Entre Ríos. Serie Relevamiento de Recursos Naturales N° 16. (1997)
 5. Cabrera A. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Segunda edición. Tomo II. Editorial ACME S.A.C.I. (1976). 85 pp
 6. ARCGIS version 10.2. ESRI (Environmental Systems Research Institute), Inc. USA. User's Guide and Tutorial Exercises. (2014).
 7. USACE, (2015). HEC-HMS Hydrologic Modeling System, versión 4.1. User's Manual. U.S. Army Corps of Engineers Civils. Hydrologic Engineering Center. Davis. California. Disponible en: <http://www.hec.usace.army.mil/software/heh-hms/>
 8. Marizza, M.; Rapacioli, R., Vives L. La problemática aluvional en el Alto Valle del Río Negro, Argentina. *Tecnología y Ciencias del Agua*, Enero-Marzo, (2010) p.21-34.
 9. Gvozdenovich J., Barbagelata P., López G., Erosión Hídrica – USLE/RUSLE Argentina – INTA EEA Paraná. Software, Versión 2.0. (2015). URL: <http://www.inta.gov.ar/parana>.
 10. Zamanillo E. y Larenze, G. Tormentas de diseño para la provincia de Entre Ríos. 1ª. Edición Universidad Tecnológica Nacional. (2008) ISBN 978-950-42-0109-0
 11. Moore, I. and Burch, G. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Society of America Journal*, 50, (1986) 1294 – 1298.
 12. Mitsova, H, Hofierka J., Zlocha, M., Iverson L. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *Journal International Journal of Geographical Information Systems*. Volume 10, (1996) - Pages 629-641.
 13. Desmet P., and Govers G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation* 51(5)(1996):427-433
 14. Chao-Yuan Lin, Wen-Tzu Lin, Wen-Chieh Chou. Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. *Soil & Tillage Research*, 68, (2002) pages. 143-152.
 15. Almorox, J., De Antonio R., Saa A., Díaz M.C., Gascó J.M. Métodos de estimación de la erosión hídrica. Madrid. Ed. Agrícola Española S.A. (1994) p.152.
 16. Simons D.B., Fuat Sentürk. Sediment Transport Technology. Water and Sediment Dynamics. Water Resources Publications, P.O.Box 2841, Littleton, Colorado, USA. (1992)
 17. Engel B. Estimating Soil Erosion Using RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) Using ArcView. Purdue University. <http://danpatch.ecn.purdue.edu/~engelb/abe526/gisrusle/gisrusle.html>. (1999).
 18. FAO. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma. (1980) p.86