

Expansión de la frontera agrícola en Argentina y erosión hídrica: mapas de riesgo utilizando el Modelo Usle con apoyo de SIG

Orúe, M. Eugenia ^{a 1}; Láttera, Pedro ^a; Cabria, Fabián

^a Lab. Agroecología, FCA, UNMdP. EEA Balcarce, INTA. CC 276, 7620 Balcarce, ARGENTINA. ^b Lab. Geomática, FCA, UNMdP. EEA Balcarce, INTA. CC 276, 7620 Balcarce, ARGENTINA.

Resumen

Dentro del manejo de cuencas hidrográficas es de particular importancia, identificar áreas de alto riesgo de erosión hídrica. Para ello, se aplicó la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) mediante técnicas de información geo-referenciada (GIS). El mapa de riesgo de erosión de las principales cuencas sujetas a expansión agrícola, mostró que el 17% y 32% de las cuencas analizadas presentan un riesgo alto-muy alto y moderado, respectivamente. Estos resultados permitirán simular la pérdida de sedimentos y contaminantes en áreas críticas bajo escenarios de uso alternativos, valorando la importancia de la vegetación ribereña y humedales como filtros al transporte de sedimentos y contaminantes.

Palabras claves: USLE, monitoreo erosión del suelo, cuencas hidrográficas.

Abstract

The soil loss by water erosion constitutes a central subject in the Watershed Management, being from major importance the identification of areas of greater potential erosion. The parameters of the Universal Soil Loss Equation (USLE) were estimated by means of techniques of geo-referenced information (GIS). Erosion risk maps of the main river basins were obtained, showing that 17% and 32% of the studied watershed present a high to very high or moderate erosion risk. In future works, over these river basins we will apply an hydrology model to simulate the losses of sediments, nutrients and polluting agents under different management scenes including the influence of riparian vegetation.

Keywords: USLE, soil erosion monitoring, watersheds

Introducción

La intensa transformación del paisaje asociada a la expansión de la frontera agrícola en Argentina requiere considerar sus consecuencias ambientales a diferentes escalas espaciales. Este trabajo es complementario a otros de menor escala, permitiendo obtener una visión de conjunto para establecer prioridades de planificación y manejo a gran escala dentro del territorio nacional.

La superficie dedicada a cultivos anuales se ha expandido durante el periodo 1988-2002 a una tasa anual media superior al 0.27%, siendo en la región Pampeana donde se produjo el mayor crecimiento: 14.3% en Córdoba; 9.9% en Entre Ríos, 9.8% en Santa Fe y 6% en Buenos Aires. Sigue en importancia la región Chaqueña en donde la superficie cultivada se incrementó 4% (4.3 millones de Ha.) en las provincias de

Salta, Santiago del Estero y Chaco (Paruelo et al. 2005). La expansión agrícola Pampeana se produjo a expensas de pasturas y remanentes de pastizales naturales, mientras que en la Región Chaqueña ocurrió fundamentalmente sobre bosques nativos.

Una de las externalidades negativas de la conversión de tierras naturales a cultivos es el incremento en los procesos erosivos, es decir, una mayor salida de sedimentos y otros contaminantes desde el predio, asociada a un incremento en la tasa de escurrimiento superficial. Este proceso trae varias consecuencias sobre los cauces, ambientes ribereños, y sus sumideros (humedales, lagos, marismas, estuarios) tales como mayores tasas de sedimentación y colmatación, eutrofización, pérdida de capaci

dad de regulación del régimen hidrológico, y mayor intensidad de inundaciones.

Estudios realizados según la metodología de evaluación de degradación de suelos provista por la FAO (FAO- UNESCO 1980) muestran que la erosión hídrica en la Argentina, considerando todos sus grados de intensidad, afecta aproximadamente a 25.000.000 ha y ha crecido a un ritmo de 223.000 ha por año, durante los últimos 30 años (Irania et al. 1981) Si bien existen análisis recientes sobre erosión hídrica para algunas cuencas y regiones del país (Ligier et al. 1998, Gaspari et al. 2006, Berezi 2006), la detección de áreas particularmente críticas por su riesgo de erosión, requiere de una visión actualizada para el conjunto de las fronteras agrícolas.

Dentro de los planes de manejo integral de cuencas hidrológicas, la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) desarrollada por Wischmeier y Smith (1979) es recomendada como una herramienta muy útil en la estimación de la erosión hídrica (Chen 2000, FAO 1997). Este método ha sido empleado para predecir la pérdida media anual de suelo por erosión bajo diferentes escenarios de manejo sirviendo como guía para la toma de decisiones en los planes de conservación (TRAGSATEC 1994).

El modelo permite estimar la erosión hídrica potencial de una zona (en adelante, «riesgo de erosión hídrica»). Este valor representa la pérdida de suelo en t/ha.año que se produciría en ese lugar si el suelo se mantuviese arado a favor de la pendiente y sin ningún tipo de cobertura durante un año, expuesto a la acción erosiva de las lluvias, y pone de manifiesto la susceptibilidad erosiva de cada zona o unidad (Wischmeier, 1976). Es recomendable que la aplicación del método USLE se realice mediante técnicas GIS ya que los factores que forman la ecuación tienen una clara representación geográfica sobre el territorio. Sin embargo, la aplicación de la USLE en terrenos de fuerte pendiente presenta limitaciones considerables, siendo empleado, a nivel estimativo, con fines exploratorios y comparativos (Farrish et al. 1993).

El objetivo del trabajo es estimar el riesgo de erosión hídrica utilizando el modelo USLE con apoyo de SIG, en la zona de expansión de la frontera agrícola, con el fin de identificar cuencas hidrográficas críticas. En trabajos posteriores, sobre dichas cuencas se aplicarán modelos hidrológicos capaces de simular las pérdidas de sedimentos, nutrientes y contaminantes bajo diferentes escenarios de manejo, y valorar la influencia de vegetación ribereña y de los

humedales como filtros al transporte de sedimentos y contaminantes.

Materiales y Métodos

Materiales:

Mapas base: Modelo digital de elevación (MDE); Mapa de Suelos (Atlas de suelos de la RA 1: 500.000 INTA); Mapa de expansión de la frontera agrícola (Carreo y Viglizzo, 2006); Mapa de cuencas hidrológicas (GIS de la República Argentina).

Mapas derivados: Mapa de pendientes y longitud de la pendiente; Mapa de Índices de erosividad de las lluvias; Mapa de susceptibilidad del suelo a erosión hídrica; Mapa de erosión potencial.

Los mapas se representan bajo formato raster con un tamaño de píxel de 90 metros.

Procedimientos:

Para la aplicación del método denominado Ecuación Universal de Pérdida de Suelos de Wischmeier y Smith (1978) se trabajó de acuerdo al esquema de la Figura 1. Se seleccionó este método y no RUSLE (USLE revisada), para poder comparar nuestros resultados de erosión potencial con trabajos de diferentes provincias que utilizaron el mismo método (Ligier et al. 1998, Gaspari et al. 2006, Berezi 2006). La expresión más conocida de esta ecuación, es:

$$A = R \cdot K \cdot S \cdot L \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Siendo:

A la pérdida de suelo por unidad de superficie (tn/ha.año) **R** es el factor lluvia o índice de erosión pluvial (MJ. mm /ha h). **K** es el factor erodabilidad del suelo (tn.ha.h / ha.MJ.mm). **L** es el factor longitud de pendiente (adimensional). **S** es la pendiente (adimensional). **C** es el factor cultivo y/o ordenación. **P** es el factor prácticas de cultivo.

Determinación de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo:

Determinación del Factor LS

USLE tiene en cuenta la topografía del terreno mediante la introducción del factor L de longitud de la pendiente del terreno y del factor S de grado de la pendiente. Ambos factores pueden ser calculados mediante operaciones realizadas sobre el modelo digital de elevación (MDE).

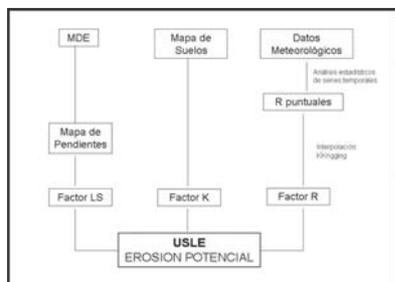


Fig. 1. Protocolo de trabajo para la estimación de Erosión Potencial (EP) según el método USLE.

El Modelo Digital de Elevación (MDE) (Fig.2) se generó a partir de información geospacial obtenida por la NASA; proyecto Shuttle Radar Topographic Misión (SRTM; <http://srtm.csi.cgiar.org>). Con las imágenes Geo Tiff se confeccionó un mosaico al cual se le aplicó una máscara del territorio de la República Argentina. La georreferenciación original, sistema de coordenadas geográficas y datum WGS84 se transformó con el fin de adecuarla a la proyección plana (Faja 3 Campo Inchauspe). Este producto fue exportado en formato .bil al Arcview y transformado a formato raster, GRD.

Para el cálculo del factor *LS* (Fig.3) se utilizó la siguiente expresión (USDA Agriculture Handbook 1978):

$$LS = (l / 22.13)^m \cdot (0.065 + 0.045 \cdot S + 0.0065 S^2) \quad (2)$$

Donde *l* es la longitud de la pendiente o ladera en metros, (*S*) es la pendiente en %, y *m* es una constante ($m = 0,5$ si $S < 5\%$; $= 0,4$ si $3,5 < S < 4,5$; $= 0,3$ si $1 < \%S < 3$; $= 0,2$ si $\%S < 1$). Las pendientes (*S*) en % se obtuvieron desde el MDE usando la herramienta surface del Arcview y transformándolas desde grados a porcentajes mediante la siguiente expresión: S (en %) = $\text{Tangente (Pendiente derivadas del MDE en grados)} \cdot 3.1416 / 180$.

Determinación del Factor R

El factor *R* indica la fuerza erosiva de la lluvia. Se obtuvieron valores puntuales de *R* para distintas posiciones geográficas desde bibliografía (Rojas 1985). Los datos puntuales fueron geo-referenciados e interpolados (*Kriging*) aplicando el software *Surfer v. 8.0* (Golden Software). Este producto fue exportado a *Arcview v. 3.2* (ESRI Software) y luego transformado a formato raster, GRD (Fig.4).

Determinación del Factor K

Indica la erodabilidad del suelo o susceptibilidad a la erosión hídrica del suelo. Para su cálculo se aplicó una fórmula simplificada del Nomograma de Wischmeier (1978) obtenida desde el modelo GLEAMS (Knisel et al. 1992):

$$K = FT (12 - MO) + FE + FP \quad (3)$$

Siendo:

K = erodabilidad del suelo (tn.ha.h / ha.MJ.mm); *FT* = factor textura; *MO* = % materia orgánica; *FE* = factor estructura y *FP* = factor permeabilidad. Los factores textura, estructura y permeabilidad se encuentran tabulados, de acuerdo a las principales clases texturales de suelos, en el manual del modelo GLEAMS (Knisel et al. 1992). Los datos de porcentaje de materia orgánica por región y por grupo de suelo, así como la clase textural por subgrupo de suelo, fueron obtenidos a partir del Atlas de Suelos de la República Argentina a escala 1:500.000 (INTA 1990). La Fig.5 muestra el mapa del factor *K* en formato raster, GRD.

Determinación de Factores C y P

Como se mencionó en la introducción, para el cálculo de la erosión potencial máxima teórica (EP) se asume que no existe cobertura ($C = 1$) y que el suelo se encuentra arado a favor de la pendiente no existiendo prácticas de manejo conservacionistas ($P = 1$).

Aplicación de la fórmula USLE

Se multiplican los valores de las imágenes raster correspondientes a los factores descriptos obteniéndose el riesgo de erosión potencial (EP) (Fig.6). A este resultado final se le superpuso el mapa de avance de la frontera agrícola (Fig.7) lo que permitió determinar las cuencas de mayor riesgo de erosión sujetas a procesos de expansión de la agricultura.

Resultados

Las clases de riesgo utilizadas en Fig.6 fueron: nulo a ligero menor a 30 t/ha.año; bajo (30-60 t/ha.año); moderado (60-120 t/ha.año); alto (120-360 t/ha.año) y muy alto (mayor a 360 t/ha.año) (FAO-Unesco, 1981). El 74% del área de estudio presentó bajo a ligero riesgo de erosión. Las zonas de riesgo alto a muy alto representaron un 8% del área de estudio, extendiéndose: en el NOA, desde Quebrada de Humahuaca (N de Jujuy) y Tartagal (N de Salta) hasta la zona de Tafí del Valle (Tucumán), en el NEA se corresponde con la provincia de Misiones, mientras que en la Región Pampeana con sectores de las Sierras de Córdoba y las Sierras de Ventana y Tandilia.

Un análisis de correlación permitió conocer el peso relativo de los distintos factores sobre la pérdida de suelo potencial. El factor LS fue el de mayor peso para toda el área de estudio ($r=0,82$) excepto para la región Pampeana ($r=0,4$). El factor R tuvo una correlación media para toda el área ($r=0,46$) y alta en el NEA ($r=0,81$). Mientras que el factor K fue el de mayor importancia para la región Pampeana ($r=0,93$).

NOA:

El 15,6% del área de la región (Tabla 1) presentó riesgo alto a muy alto, afectando a las provincias de Jujuy, Tucumán y Salta. Las cuencas más afectadas son: la cuenca del Río Bermejo superior (identidad de la cuenca (ID) número 5) y la Alta cuenca del Río Juramento (ID10), incluidas en categoría de riesgo muy alto. Las cuencas del Río San Francisco (ID9) y de la Puna (ID2) pertenecen a la categoría de riesgo alta. Las restantes cuencas de la zona están en categorías de erosión moderada a baja (Tabla 2).

NEA:

El 87 % del área de Misiones presentó alto a muy alto riesgo de erosión (Tabla 1). La cuenca más afectada de la zona fue la del río Pepiriguazú (ID19), clasificada como de riesgo muy alto (Tabla 2). En la «zona de campos» de relieve ondulado, en el NE de Corrientes, se encontró un riesgo alto de erosión, extendiéndose sobre las cuencas del Río Santa Lucía (ID25) y del Río Aguapey (ID28). La zona de menor riesgo correspondió a la Cuenca del Río Corrientes, donde se encuentran los Esteros del Iberá. En el S de Entre Ríos se encontró un riesgo de erosión moderado a alto extendiéndose sobre las cuencas: Río Gualeguay (ID44), Río Nogoya (ID53) y N del Delta del Paraná (ID50). En el sector oriental, de las provincias de Formosa y Chaco (Chaco Húmedo) se encontró un riesgo de erosión moderado a alto, afectando parte de la cuenca del Río Bermejo inferior (ID7) y de la cuenca de Arroyos afluentes del Río Paraguay (ID8).

Pampeana:

Solo el 2,5% de esta región se encontró sujeta a alto riesgo de erosión, particularmente en las sierras de Córdoba; las sierras de Ventana y Tandilia y el NE de Santa Fe. La cuenca del Río Conlara (ID47), en las sierras de Córdoba, fue la de mayor riesgo de esta región. Las siguientes cuencas se encontraron en la categoría de riesgo moderado: Cuenca del río Saladillo (ID37), Cuenca del río Pasaje o Salado (ID12) en Santa Fe; Cuenca de los ríos Primero y Se-

gundo (ID46), Cuencas varias de las Salinas Grandes (ID33) en Córdoba. Las restantes cuencas de la zona presentaron bajo riesgo de erosión (Tabla 2).

Riesgo de erosión hídrica y expansión de frontera agrícola:

La coincidencia del riesgo de erosión y del avance de la frontera (Tabla 2) permitió detectar las siguientes áreas críticas:

- en el NOA; cuenca del río Bermejo superior, de riesgo muy alto; cuenca del río San Francisco, de riesgo alto y las cuencas del Río Rosario u Horcones, Río Bermejo medio e inferior y del río Salí Dulce de riesgo moderado.

- en el NEA: cuenca del río Bermejo media e inferior y la cuenca del río Nogoya, ambas de riesgo moderado.

- en la región Pampeana: la cuenca del río Conlara de riesgo alto y las cuencas del A° Saladillo y de los ríos 1° y 2°, ambas de moderado riesgo de erosión

Discusión

Los resultados permiten obtener una visión de conjunto capaz de orientar la toma de decisiones políticas a gran escala (ordenamiento territorial para la conservación y el desarrollo), así como para detectar áreas críticas a estudiar en mayor profundidad para evaluar las posibilidades de implementar medidas de mitigación (prácticas de control de erosión y filtrado de sedimentos y contaminantes).

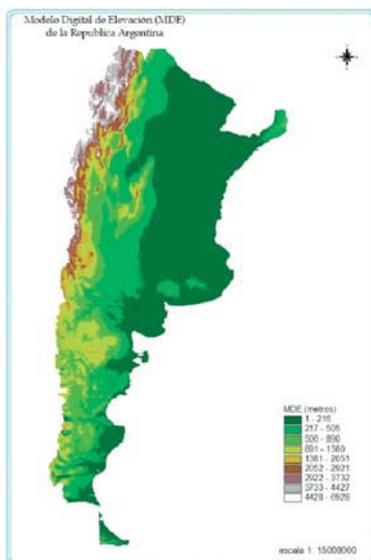


Fig.2 Modelo digital de elevación

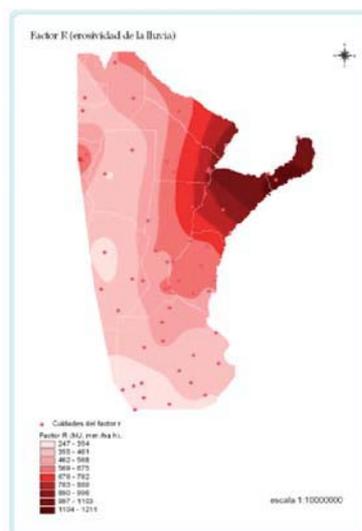


Fig.4 Factor R



Fig.3 Factor LS

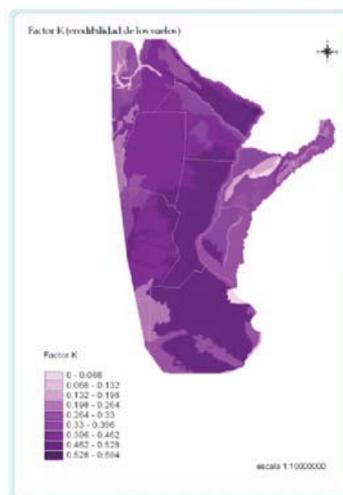


Fig.5 Factor K

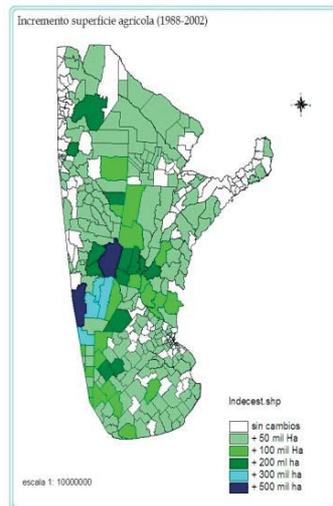


Fig.6 Expansión Agrícola

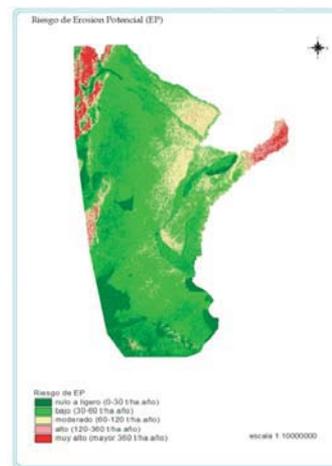


Fig.7. Riesgo de Erosión hídrica (EP)

Tabla 1 Distribución del riesgo de erosión

AREA SEGUN CLASES DE RIESGO DE EROSION HIDRICA POTENCIAL (EP) (%)						
Provincia	Ligero EP 0 -30	Bajo EP 31 -60	Moderado EP 60 -120	Alto EP 120 -360	Muy al to EP > 360	Ha.
Jujuy	16	14	14	29	27	2530583
Salta	15	53	11	11	14	10680968
Catamarca	74	18	8	3	0	870235
Santiago Est.	34	69	5	0	0	13719390
Tucumán	34	29	11	12	18	1594874
Ha. NOA	26.7	54.8	8.4	7.2	8.4	29396049
Formosa	4	39	49	8	0	7619387
Chaco	6	57	33	4	0	10042689
Misiones	0	1	11	54	33	2618583
Corrientes	12	44	39	5	0	9022845
Entre Ríos	13	60	25	2	0	7898712
Ha. NEA	8.3	46.7	34.3	8.2	2.4	37202216
Santa fe	1	62	35	1	0	13390105
Córdoba	29	56	8	6	1	13845306
Buenos aires	38	54	7	1	0	27210243
La pampa	96	4	0	0	0	1354969
Ha. PAMPEA.	28.5	55.3	13.8	2.1	0.4	55800622
Ha Totales	22	53	19	5	3	122398888

Tabla 2. Descripción estadística (valores máximos, media y mediana) de Erosión Potencial (EP) y clasificación de riesgo por Cuenca.

ID cuenca	Nombre Cuenca	Región	Area Ha	Max	media	Med.	Clasificación de riesgo
ID19	Río Pepiri-Guazú	NEA	13382	2281	521,8	476	Muy alto
ID20	Cuencade arroyos de MisionesRío Uruguay.	NEA	995397	4138	346,93	261	Alto
ID17	Cuenca de arroyos de MisionesRío Paraná	NEA	1605204	3855	344,28	255	Alto
ID14	Cuenca Río Iguazú	NEA	121096	1920	224,19	194	Alto
ID16	Cuenca propia Paraná hasta Confluencia	NEA	200225	2540	121,77	78	Alto
ID28	Cuenca de Río Aguapey	NEA	818921	982	87,26	77	Moderado
ID13	Cuenca propia del río Paraguay	NEA	200663	448	78,23	70	Moderado
ID7	Cuenca del río Bermejo	NEA	7040071	4925	76,95	53	Moderado
ID53	Cuenca del Río Nogoya	NEA	385764	360	76,88	73	Moderado
ID41	Cuenca menores de corrientes Río Uruguay	NEA	122441	518	74,35	68	Moderado
ID32	Cuencas menores de corrientes	NEA	298023	795	74,24	60	Moderado
ID36	Cuencas menores de Corrientes	NEA	368102,9	1081	70,7	63	Moderado
ID8	Zona de ríos y arroyos de Salta y Formosa	NEA	4699879,0	1526	69,68	61	Moderado
ID25	Cuenca del Río Santa Lucia	NEA	1625921,1	790	69,32	64	Moderado
ID34	Cuenca del Río Miriñay	NEA	1306081,3	581	64,86	61	Moderado
ID39	Cuenca del río Mocoreta	NEA	372154,5	497	60,78	57	Bajo
ID45	Cuenca de arroyos menores de Entre Ríos	NEA	726497,1	483	58,95	53	Bajo
ID26	Cuenca propia del Paraná medio.	NEA	1781710,0	771	58,37	51	Bajo
ID38	Cuenca del Río Guayquiraró	NEA	958792,9	462	57,66	55	Bajo
ID42	Cuenca del Río Feliciano	NEA	846041,8	295	57,25	54	Bajo
ID21	Cuenca propia de los bajos submeridionales.	NEA	6198656,2	528	56,65	54	Bajo
ID11	Zona sin Ríos ni arroyos de Salta Chaco etc.	NEA	9806218,9	647	54,6	45	Bajo
ID3	Parte Arg de la cuenca del Río Pilcomayo	NEA	2431531,6	421	52,92	50	Bajo
ID44	Cuenca del Río Gualaguay.	NEA	2237221,7	474	49,99	46	Bajo
ID50	Cuenca del delta del Paraná	NEA	2270379,8	616	45,36	35	Bajo
ID27	Cuenca del Río Corrientes	NEA	2795747,3	852	44,56	37	Bajo
ID51	Cuenca del Río Gualaguaychu	NEA	730630,6	268	42,92	41	Bajo
ID58	Cuenca arroyos menores de Entre Ríos	NEA	238460,0	206	36,41	34	Bajo
ID5	Cuenca del Río Bermejo superior	NOA	1328268,8	6356	476,07	391	Muy alto
ID10	Alta cuenca del Río Juramento	NOA	410539,6	7617	360,77	202	Muy alto
ID9	Cuenca del Río San Francisco	NOA	2454984,5	6861	295,94	177	Alto
ID2	Cuencas varias dea Puna.	NOA	275971,0	1981	136,08	83	Alto
ID6	Parte Arg de la cuenca del Río Pilcomayo	NOA	171660,9	2094	118,04	62	Moderado
ID15	Cuenca de los Ríos Rosario u horcones.	NOA	1910965,9	6253	111,47	44	Moderado
ID4	Cuenca del Río Itiyuro o Carapari	NOA	805640,6	4891	101,15	48	Moderado
ID7	Cuenca del Río Bermejo medio e inferior.	NOA	7040071,3	4925	76,95	53	Moderado
ID18	Cuenca del Río Sali dulce	NOA	8530313,2	6284	76,7	36	Moderado
ID8	Zonas de Ríos y arroyos de Salta y Formosa.	NOA	4699879,0	1526	69,68	61	Moderado
ID12	Cuenca Río Pasaje o Salado	NOA	9308291,1	6806	62,72	42	Moderado
ID33	Cuencas varias de las Salinas grandes.	NOA	2104161,3	4890	62,29	33	Moderado
ID3	Parte Arg de la cuenca del Río Pilcomayo	NOA	2431531,6	421	52,92	50	Bajo
ID47	Cuenca Río Onlara	PAM	46116,5	2934	255,66	182	Alto
ID37	Arroyo Saladillo.	PAM	1412849,8	558	69,51	64	Moderado
ID46	Ríos 1 y 2	PAM	3039073,9	2942	67,21	37	Moderado
ID60	Cuenca del Río Arrecifes	PAM	1108511,7	501	53,64	49	Bajo
ID55	Cuenca arroyos del SE de Santa Fe	PAM	1357347,7	405	53,24	51	Bajo
ID48	Arroyo Colastine	PAM	1423489,1	400	50,56	48	Bajo
ID49	Río Carcarañá	PAM	5855495,0	2133	50,2	39	Bajo
ID61	Arroyos NE Bs.As.	PAM	1030190,4	444	46,82	46	Bajo
ID59	Río Salado	PAM	8824392,9	765	43,03	40	Bajo
ID56	Río 5 y arroyos de San Luis	PAM	1542610,9	362	38,86	37	Bajo
ID72	Cuenca de arroyos del SE de Bs.As.	PAM	1187984,9	1783	38,77	33	Bajo
ID74	Ríos y arroyos menores so de Bs.As.	PAM	250196,8	1208	37,31	21	Bajo
ID73	Arroyos del s de Bs.As.	PAM	4217241,6	1757	34,56	28	Bajo
ID68	Zona de canales	PAM	4134892,7	997	34,24	32	Bajo
ID65	Cuenca de desague del Río de la Plata	PAM	1095522,6	372	28,86	33	nulo o ligero
ID71	Región lagunera	PAM	2070274,9	2430	28,74	23	nulo o ligero
ID62	Región sin drenaje sup.	PAM	5006123,8	332	26,9	23	nulo o ligero
ID70	Región de médanos costeros	PAM	6021,5	69	16,17	14	nulo o ligero

Bibliografía

- Berezi E. 2006. Determinación de la tasa de erosión mediante un sistema de información geográfica en suelos del partido de Balcarce, Argentina. Tesis de grado. Universidad Pública de Navarra (España) - Universidad Nacional de Mar del Plata (Argentina).
- Chen, Y. 2000. Using GIS for calculating soil erosion in Toutunhe River Basin of arid Xinjian. In Lafflen, J.M., Tian, J. and C.H. Huang (Eds.) Soil erosion and dry land farming. CRC Press. Boca Raton. pp. 359 - 379. *comentarios*, nº 6, p.15 -27. ISSN: 1578-5157
- Environmental Systems Research Institute (ESRI) 1996. Working with the ArcView Spatial Analyst.
- FAO-PNUMA-UNESCO. 1981. Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos. Roma. Italia.
- Farrish, K. W, Adams, J. C., Thompson, C. V. 1993. Soil conservation practices on clearcut forestlands in Louisiana. J. Soil and Water Cons. 48. 136-139. Handbook, nº 537. Washington D.C.
- Gaspari, F. J., M. Vázquez & J. Lanfranco. 2006. Relación entre la erosión hídrica superficial y la distribución de la pérdida de calcio, magnesio y potasio del suelo. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 106 (1), pp 47-57. ISSN 0041-8676, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina
- INTA, 1995. Atlas de Suelos de la República Argentina, Escala 1:500.000 / 1:1.000.000, en CD
- Jarvis, A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara. 2006. Hole-filled SRTM for the globe Version 3, available from the CGIAR-CSI SRTM. <http://srtm.csi.cgiar.org>
- Ligier, H. D. Vallejos, O. Perucca, A.R. Matteo, H. 1998. La erosión hídrica en la provincia de Corrientes: aplicación de la Ecuación Universal de pérdidas de suelos al mapa edafológico de la provincia de Corrientes, E.E.A. Inta Corrientes Área Producción vegetal y Recursos Naturales. N° 537. Washington D.C. 58 pp.
- Rojas, A. y A. Conde. 1985. Estimación del factor R de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo para el Centro este de la República Argentina. Ciencia del Suelo, Vol. 31,2. Buenos Aires. Argentina. En el «Manual de sistematización de tierras para control de erosión hídrica y aguas superficiales excedentes» de la EEA-INTA Paraná.
- TRAGSATEC 1994. Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión.
- USDA. Field manual for research in agricultural hydrology. Agricultural handbook No. 224. Washington. 547 pp.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. U.S.D.A. A.H.n 537. Washington.