

**APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE
PREDICCIÓN DE PERDIDAS DE SUELO EN LA
PROVINCIA DE BUENOS AIRES**

Por

**Ings. Agrs. Carlos B. Irurtia y Gustavo Cruzate
Técnicos del Instituto de Suelos del INTA**

Castelar

Para determinar la tasa de erosión hídrica actual presente en un predio en producción puede utilizarse la Ecuación Universal de Predicción de Erosión Hídrica (USLE) establecida por Wischmeyer y Smith en 1978.

La USLE establece que:

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

Dónde:

A: pérdida de suelo actual en, toneladas.ha⁻¹.año⁻¹.

R: erosividad de las lluvias en, t.m.ha⁻¹cm.h⁻¹.10⁻²

K: susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica, en unidades métricas

L: factor longitud de pendiente

S: factor pendiente.

Los factores L y S se los denomina factor topográfico (LS), y se los determina en forma conjunta.

C: factor cultivo o cobertura

P: factor práctica conservacionista.

El producto de estos 6 factores estiman la erosión hídrica actual (A) para una situación determinada de clima, suelo, relieve, cultivo y manejo del suelo.

Los términos RKLS, establecen la influencia de los factores físicos del lugar, poco modificables por el hombre, representan la pérdida de suelo que ocurriría en ese sitio si todo el año el suelo estuviese desnudo, por esa razón en este trabajo a este producto parcial lo denominamos erosión potencial (EP).

Para establecer si una producción agropecuaria es sustentable desde el punto de vista de la erosión hídrica hay que hacer correr la ecuación para cada situación en particular. Dado que en gran parte los factores físicos han sido estudiados y mapeados por el INTA se utilizará en este trabajo la información disponible a escala 1:2.500.000 para facilitar el cálculo.

Determinación de la erosividad de las lluvias (R)

Los datos de R o Erosividad de la Lluvia están publicados en el "Manual de sistematización de tierras para control de erosión hídrica y aguas superficiales excedentes" de la EEA-INTA Paraná. En la figura 1 se combinan los datos de erosividad de las lluvias con los partidos de la provincia de Buenos Aires. Si bien abarca a gran parte de la provincia de Buenos Aires, el extremo sur no es incluido en la información de base. Para estimar los valores de R en ese sector se utilizó la estimación aplicada por Irurtia, Musto y Culot en el trabajo "Evaluación del riesgo de erosión hídrica en el sector argentino de la Cuenca del Plata". En la figura 2 se combinan los partidos con los dominios edáficos tal cual fueron establecidos en el "Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires". En la figura 3 se combinan los dominios edáficos con las isolíneas de erosividad de las lluvias, de esta manera se obtiene un mapa donde figuran los dominios edáficos y las curvas de erosividad de lluvias. Las curvas auxiliares permiten realizar ajustes de acuerdo a la ubicación del sitio.

Para estimar los valores de cada dominio edáfico, se realizó un promedio ponderado de los valores de las isolíneas de R que están presentes en el área correspondiente de cada dominio.

Determinación de la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica (K)

Para estimar el valor de la susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica (K) es necesario contar con información edáfica específica. El valor de K en unidades del sistema norteamericano se calcula mediante la siguiente ecuación de estimación establecida por Wischmeyer y Smith (1978).

$$100.K = 2,1 [(\%limo+arena\ muy\ fina).(100-\%arcilla)]^{1,14} \cdot 10^{-4} .$$

$$(12-\%MO) + 3,25(b-2) + 2,5(c-3)$$

Para pasar el K del sistema norteamericano a unidades métricas (Km) hay que multiplicarlo por 1,292. Incluyendo esta conversión la ecuación queda de la siguiente forma:

77,4.Km = 2,1 [(%limo+arena muy fina).(100-

%arcilla)]^{1,14} . 10⁻⁴ . (12-%MO) + 3,25(b-2) + 2,5(c-3)

Términos de la ecuación

Limo: fracción de 2 a 50 um

Arena muy fina: fracción de 50 a 100 um

Arcilla: fracción inferior a 2 um

MO: materia orgánica de la capa superficial de suelo en %. Cuando el dato disponible es en carbono orgánico debe multiplicarse por 1,724

b: grado de estructura del suelo según la siguiente escala.

1: muy buena estructura. Granular muy fina.

2: buena estructura. Granular fina.

3: estructura regular.

4: mala estructura, laminar o masiva.

c: Permeabilidad, según la siguiente escala.

1: muy rápida, mayor a 12,5 cm/hora

2: moderadamente rápida, de 6,25 a 12,5 cm/hora.

3: moderada, de 2,0 a 6,25 cm/hora.

4: moderadamente lenta de 0,5 a 2,0 cm/hora.

5: lenta, entre 0,125 y 0,500 cm/hora

6: muy lenta, inferior a 0,125 cm/hora.

Estos términos, en gran parte figuran en el Mapa de Suelos de la provincia de Buenos Aires. Los parámetros b y c se infieren a partir de las descripciones de los suelos dominantes de cada dominio edáfico. Siguiendo esta metodología se estimó el valor de K de los 56 suelos dominantes que componen los dominios edáficos de la provincia de Buenos Aires, tabla 1.

Determinación del factor topográfico LS

El factor topográfico establece el aporte que hace el relieve a la erosión hídrica. Para su cálculo se utiliza la ecuación establecida por Wischmeyer y Smith y modificada por la FAO, 1977. Esta metodología requiere como datos, la longitud de la pendiente en metros y su pendiente en por ciento. La ecuación utilizada es la que sigue.

$$LS = (L / 22,1)^m \cdot (0,0650 + 0,04536 \cdot P + 0,0065 \cdot P^2)$$

Términos de la ecuación

L: longitud de la pendiente en metros.

P: pendiente en %

m: exponente que varía con la pendiente, de la siguiente manera,

Para pendientes hasta 0,5%, m=0,2

Para pendientes entre 1% y 3%, m=0,3

Para pendientes entre 4 y 5 %, m=0,4

Para pendientes mayores de 5%, m=0,5

Los datos de longitud y gradiente se estimaron para cada uno de los suelos dominantes de acuerdo a las descripciones de los paisajes correspondientes a los suelos dominantes del Mapa consultado. El valor estimado de LS se consignó en la tabla 1.

El valor de LS debe ser modificado cuando se hacen terrazas, (factor P de la USLE) dado que representan un acortamiento muy importante de la pendiente. El factor L varía, en estos casos, entre 30 y 90 m según la pendiente general del terreno, mientras que P se mantiene constante.

Erosión Potencial (RKLS)

Multiplicando los valores estimados de R, K y LS se estima la erosión potencial (EP) correspondiente a cada suelo dominante del dominio edáfico. Tabla 1. Los valores varían entre 473,7 t/ha/año y

0, los diferentes valores fueron calificados según la siguiente escala de valoración.

Tabla 2. Clasificación de la erosión potencial (EP)

Clase	Valor en t.ha ⁻¹ año ⁻¹
Erosión potencial nula a ligera (L)	0-30
Erosión potencial baja (B)	31-60
Erosión potencial moderada (M)	61-120
Erosión potencial alta (A)	121-360
Erosión potencial muy alta (MA)	+ 360

Como puede apreciarse en la tabla 1 la mayoría de los suelos presentan erosión potencial (RKLS) entre ligera y moderada, esta es una ventaja comparativa de gran parte de la región pampeana argentina.

Tasa de erosión actual (A)

Para estimar el valor de la tasa de erosión actual (A), hay que multiplicar este valor (R.K.L.S) por los valores de C y P. Estos valores dependen del manejo que cada productor haga de su campo. Para diferentes manejos corresponden diferentes valores de C, tabla 3 y de P tabla 4.

Tabla 3. Valores de C para diferentes manejos (valores orientativos)

Manejo de suelos y cultivos	Valor * C
Monocultura de grano fino convencional	0,15
Monocultura de grano grueso con labranza convencional	0,30
Trigo soja convencional	0,45
Grano fino en siembra directa	0,06
Grano grueso en siembra directa	0,08
Trigo soja en siembra directa	0,11
Pasturas	0,003-0,042
Bosques	0,0001-0,001

* Estos valores deben ser compatibilizados con los otros valores disponibles en las provincias limítrofes.

Tabla 4. Valores de P para diferentes prácticas conservacionistas.

Pendiente %	Cultivo en con- torno	Cultivo en franjas		Cultivo en te- razas (3)
		(1)	(2)	
1-2	0,60	0,30	0,60	0,60
3-5	0,50	0,25	0,50	0,50
6-8	0,50	0,25	0,50	0,50
9-12	0,60	0,30	0,60	0,60

(1) Para una rotación de 4 años (2 de pasturas, luego grano fino y grano grueso).

(2) Para franjas alternadas de grano fino y grueso.

(3) Cultivo en terrazas lleva este valor por labrarse el suelo en curvas de nivel o casi en curvas de nivel. También debe modificarse el factor LS de acuerdo al intervalo horizontal utilizado en la construcción de las terrazas.

Multiplicando los valores obtenidos de la ecuación (R.K.L.S.C.P) se obtiene el valor de la tasa de erosión actual (A). En la tabla 1 a modo de ejemplo se calculó para todas las unidades la tasa de erosión actual A, para una situación hipotética de doble cultivo trigo-soja ($C=0,11$) sin prácticas conservacionistas ($P=1$). El valor obtenido representa la pérdida de suelo por erosión hídrica laminar y en surcos, al cabo de un año en una hectárea de superficie.

Tolerancia a la erosión hídrica de los suelos (Tol)

El valor de A debe contrastarse con la tolerancia a la erosión hídrica (Tol) de cada suelo (tabla 1). Se acepta que los suelos más profundos pueden tolerar mayores tasas de erosión que los poco profundos. En base a este criterio la FAO estableció diferentes valores de tolerancia (Tol), para los suelos de distinta profundidad y calidad de substrato. Siguiendo estos lineamientos se estableció para los 56 suelos dominantes de los dominios edáficos de la provincia de Buenos Aires, el valor máximo de tolerancia a la erosión hídrica (Tol), tabla 5 y tabla 1.

Tabla 5.- Valor máximo de la tolerancia a la erosión hídrica según la profundidad y calidad del substrato del suelo

Profundidad del suelo (cm)	Substrato favorable (a)	Substrato desfavorable (b)
0-25	2,2	2,2
25-50	4,5	2,2
50-100	6,7	4,5
100-150	9,0	6,7
+150	11,2	11,2

(a) Substrato que puede regenerar un suelo por medio de labranzas, fertilización, enmiendas, cultivos, etc., por ejemplo loes.

(b) Substrato que no puede regenerar un suelo, por ejemplo, roca, tosca, basalto, etc.

Producción sustentable

Comparando el valor obtenido de la tasa de erosión actual, A (tabla 1) con el valor tolerable a la erosión de cada suelo, Tol, se establece si el sistema productivo es sostenible o no, desde el punto de vista de la erosión hídrica. Si el valor de A supera el valor de erosión tolerable (Tol), el sistema productivo genera erosión y por lo tanto no es sustentable por el contrario si es menor, se considera que no genera erosión y por lo tanto es sustentable.

Modo de Aplicación

La información disponible en este informe permite hacer una estimación de la tasa de erosión hídrica y su comparación con la tasa tolerable de erosión. De esta manera establecer la sostenibilidad o no de cada situación productiva en el territorio de la provincia de Buenos Aires.

El mapa de Erosividad de las lluvias, figura 1, permite interpolar los valores de R para obtener una mayor precisión. El mapa de dominios edáficos permite seleccionar el valor de (K) de acuerdo a la lista de suelos dominantes. Si se dispone de información edafológica del sitio específico (materia orgánica, textura, estructura), en-

tonces es conveniente utilizar la ecuación para estimar el factor K, que figura en este informe. De la misma manera se puede utilizar el factor LS que figura en la tabla 1, o calcularlo nuevamente con la información topográfica específica del sitio y la ecuación correspondiente.

Los valores de los factores de la USLE, C y P pueden ser asignados únicamente con la información correspondiente a ese sitio específico. En estos casos es necesario contar con un informante técnico que pueda verificar y evaluar cada situación en particular. De todos modos para correr este modelo es necesario contar con información de campo actualizada, de los factores C y P, que puede ser obtenida mediante la observación in-situ, por un técnico especialmente capacitado, o mediante la interpretación de imágenes satelitales actuales.

Esta información es esencial dado que depende de las decisiones que toma el productor agropecuario, que va modificando sus pautas de manejo a medida que adopta tecnologías más modernas.

BIBLIOGRAFIA

FAO Conservation Guide N°1.1977. Predicting soil losses due to sheet and rill erosion (Arnoldus H. M. J.). pp 99-124.

INTA y SAGPyA. 1989. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires.

Irurtia, C.B., Musto, J.C. Y J.P. Culot. 1984. Evaluación del riesgo de erosión hídrica en el sector argentino de la cuenca del Plata. Instituto de Suelos del INTA, CIRN, Castelar, Buenos Aires.

Scotta, E. S. y colaboradores. 1986. Manual de sistematización de tierras para control de erosión hídrica y aguas superficiales excedentes. EEA-INTA Paraná, Serie Didáctica N° 17

Wischmeyer, W. H. y D. D. Smith.1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook N° 537. Washinton. USA.

Figura 1. Isolíneas de Erosivad de Lluvias (Factor R)

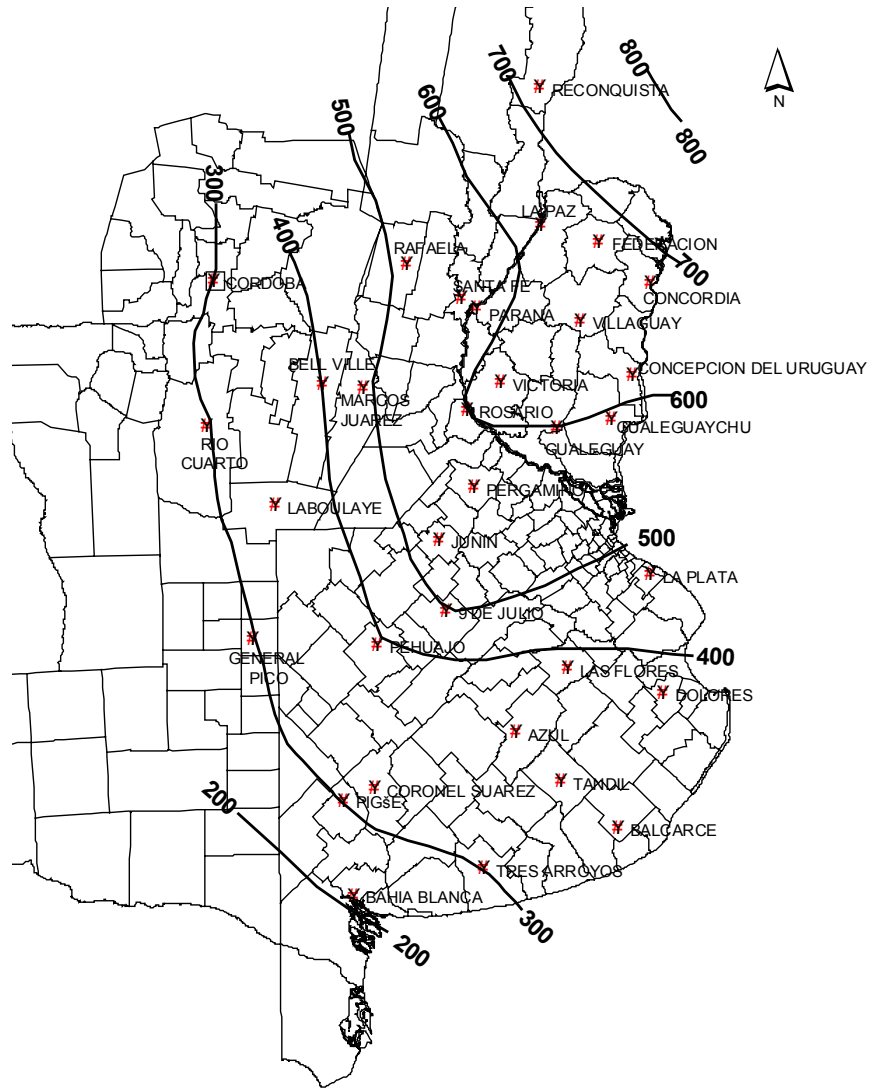


Figura 2. Mapa de Dominios Edáficos

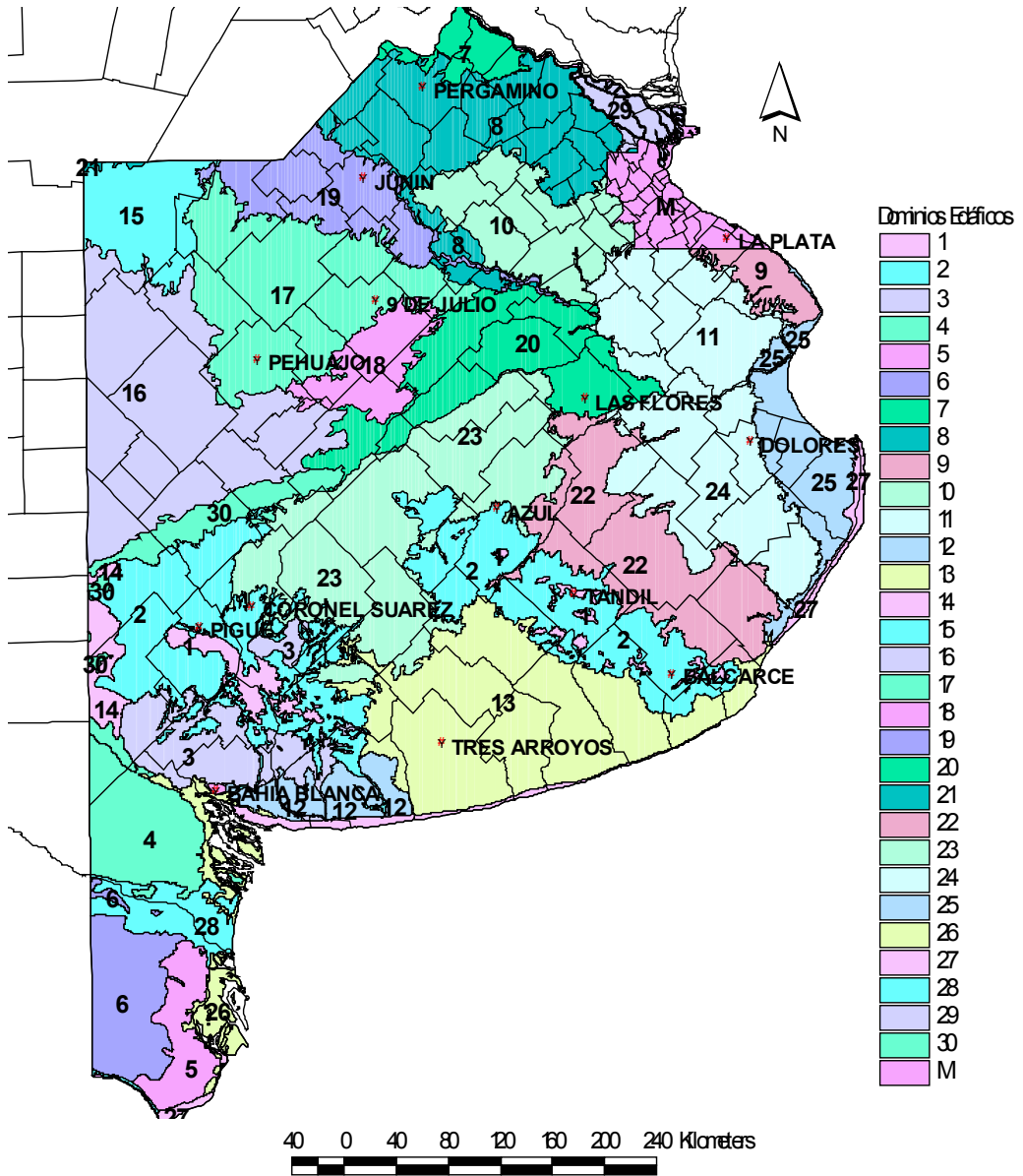
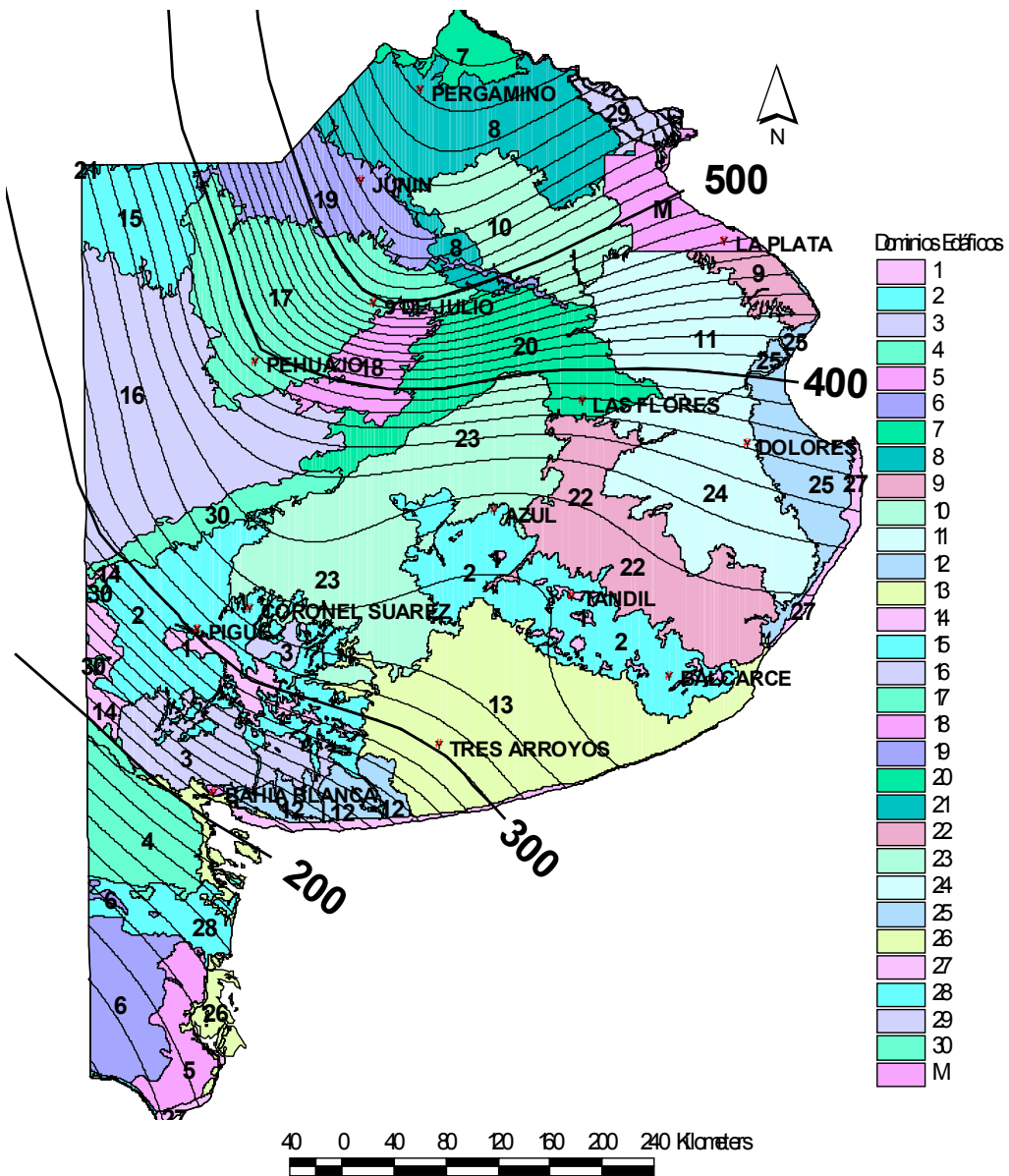


Figura 3. Mapa de Dominios Edáficos y Curvas de Erosividad de Lluvias (R)



DOM	R	SUELOS DOMINANTES	k	UNIDAD GEOMORF.	SUBUNID.GEOMORFOLOGICA	p%	L	LS	RKLS	CLASE	C	P	A	TOL.
1	306	Hapludol litico	0,36	Sierras	Escarpado, roca y loess delgado	10,00	300	4,30	473,69	MA	0,110	1,00	52,11	2,20
2	312	Argiudol tipico somero	0,21	Sierras	Pedemonte ondulado, loess sobre tosca	5,00	200	1,09	71,42	M	0,110	1,00	7,86	2,20
2	312	Argiudol tipico	0,54	Sierras	Pedemonte ondulado, loess sobre tosca	2,00	300	0,40	67,39	M	0,110	1,00	7,41	6,70
2	312	Argiudol tipico som e inc	0,58	Sierras	Pedemonte ondulado, loess sobre tosca	4,00	200	0,85	153,82	A	0,110	1,00	16,92	2,20
3	248	Haplustol tipico	0,26	Mesetas	Planicies disectadas, loess sobre tosca	2,00	300	0,40	25,79	L	0,110	1,00	2,84	6,70
3	248	Haplustol litico	0,31	Mesetas	Planicies disectadas, loess sobre tosca	5,00	200	1,09	83,80	M	0,110	1,00	9,22	6,70
4	172	Torripsamen ustico	0,06	Mesetas	Aterrazado, arenas y rodados	1,00	300	0,26	2,68	L	0,110	1,00	0,30	6,70
4	172	Ustipsamen tipico	0,10	Mesetas	Aterrazado, arenas y rodados	2,00	200	0,35	6,02	L	0,110	1,00	0,66	4,20
5	134	Haplargid tipico	0,07	Mesetas	Suavemente ondulado, arenas finas	2,00	300	0,40	3,75	L	0,110	1,00	0,41	4,50
5	134	Haplustol aridico	0,08	Mesetas	Suavemente ondulado, arenas finas	4,00	300	0,99	10,61	L	0,110	1,00	1,17	6,70
6	126	Calciortid tipico	0,15	Mesetas	Planos, arenas y limos sobre rodados	1,00	300	0,26	4,91	L	0,110	1,00	0,54	11,20
6	126	Haplargid tipico	0,44	Mesetas	Planos, arenas y limos sobre rodados	0,50	500	0,17	9,42	L	0,110	1,00	1,04	11,20
7	590	Argiudol vertico	0,53	Llanura continental	Ondulado, loess espeso	0,50	200	0,14	43,78	B	0,110	1,00	4,82	11,20
8	561	Argiudol tipico	0,61	Llanura continental	Ondulado, loess espeso	1,50	300	0,32	109,51	M	0,110	1,00	12,05	11,20
9	447	Natracuaf tipico	0,44	Llanura continental	Ondulado, loess espeso	0,25	100	0,10	19,67	L	0,110	1,00	2,16	7,20
9	447	Cromudert tipico	0,17	Llanura continental	Ondulado, loess espeso	1,00	300	0,26	19,76	L	0,110	1,00	2,17	11,20
10	522	Argialbol argiacuico	0,59	Llanura continental	Ondulado, loess espeso	1,00	300	0,26	80,07	M	0,110	1,00	8,81	11,20
10	522	Argiudol tipico	0,46	Llanura continental	Ondulado, loess espeso	1,50	200	0,35	84,04	M	0,110	1,00	9,24	11,20
11	429	Argiudol acuico	0,41	Llanura continental	Ondulado, loess espeso	0,25	100	0,10	17,59	L	0,110	1,00	1,93	11,20
11	429	Hapludol tapto argico	0,41	Llanura continental	Ondulado, loess espeso	1,00	300	0,26	45,73	B	0,110	1,00	5,03	11,20
12	251	Argiustol tipico	0,39	Llanura continental	Suavemente ondulado, loess sobre tosca	1,00	300	0,26	25,45	L	0,110	1,00	2,80	6,70
12	251	Argiustol tipico somero	0,42	Llanura continental	Suavemente ondulado, loess sobre tosca	2,00	300	0,40	42,17	B	0,110	1,00	4,64	4,50
13	318	Argiustol tipico	0,35	Llanura continental	Suavemente ondulado, loess sobre tosca	1,00	200	0,23	25,60	L	0,110	1,00	2,82	6,70
13	318	Argiudol tipico somero	0,28	Llanura continental	Suavemente ondulado, loess sobre tosca	1,50	200	0,29	25,82	L	0,110	1,00	2,84	2,20
14	237	Haplustol entico	0,60	Llanura continental	Plano, arena sobre tosca	0,50	200	0,14	19,91	L	0,110	1,00	2,19	6,70
14	237	Haplustol entico somero	0,64	Llanura continental	Plano, arena sobre tosca	0,50	200	0,14	21,24	L	0,110	1,00	2,34	4,50
15	352	Hapludol tapto argico	0,41	Llanura continental	Medanoso, arenas finas	0,25	300	0,13	18,76	L	0,110	1,00	2,06	11,20
16	335	Hapludol entico	0,31	Llanura continental	Medanoso, arenas finas	1,50	300	0,32	33,23	B	0,110	1,00	3,66	11,20
16	335	Hapludol tipico	0,43	Llanura continental	Medanoso, arenas finas	0,25	300	0,13	18,73	L	0,110	1,00	2,06	6,70
17	435	Hapludol entico	0,54	Llanura continental	Medanoso, arenas finas	1,50	300	0,32	75,17	M	0,110	1,00	8,27	11,20
17	435	Hapludol tapto-argico	0,26	Llanura continental	Medanoso, arenas finas	1,00	200	0,23	26,01	L	0,110	1,00	2,86	11,20
17	435	Hapludol tipico	0,46	Llanura continental	Medanoso, arenas finas	1,50	300	0,32	64,03	M	0,110	1,00	7,04	11,20
18	420	Hapludol tapto-argico	0,46	Llanura continental	Medanoso, arenas finas	0,50	200	0,14	27,05	L	0,110	1,00	2,98	11,20
18	420	Hapludol entico	0,29	Llanura continental	Medanoso, arenas finas	1,00	300	0,26	31,67	B	0,110	1,00	3,48	11,20
19	504	Hapludol entico	0,55	Llanura continental	Medanoso, arenas finas	1,50	200	0,35	97,02	M	0,110	1,00	10,67	11,20
19	504	Hapludol tapto-argico	0,39	Llanura continental	Medanoso, arenas finas	1,00	300	0,26	51,11	B	0,110	1,00	5,62	11,20
20	412	Hapludol entico	0,02	Llanura continental	Medanoso, arenas finas	1,00	300	0,26	2,14	L	0,110	1,00	0,24	11,20
20	412	Hapludol tapto-natrico	0,50	Llanura continental	Medanoso, arenas finas	0,25	100	0,10	20,60	L	0,110	1,00	2,27	2,20
20	412	Hapludol tapto-argico	0,33	Llanura continental	Medanoso, arenas finas	0,50	300	0,15	20,39	L	0,110	1,00	2,24	4,50
21	341	Natralbol tipico	0,86	Llanura continental	Medanoso, arenas finas	0,25	100	0,10	29,33	L	0,110	1,00	3,23	2,20
21	341	Fragiacuaf tipico	0,67	Llanura continental	Medanoso, arenas finas	1,00	300	0,26	59,40	B	0,110	1,00	6,53	2,20
22	340	Natracuol tipico	0,44	Llanura continental	Plano concavo, limos y arcillas	0,25	100	0,10	14,96	L	0,110	1,00	1,65	2,20
22	340	Hapludol tapto-natrico	0,45	Llanura continental	Plano concavo, limos y arcillas	1,00	200	0,23	35,19	B	0,110	1,00	3,87	4,30
22	340	Hapludol tapto-argico	0,08	Llanura continental	Plano concavo, limos y arcillas	1,50	300	0,32	8,70	L	0,110	1,00	0,96	11,20
23	342	Argiudol tipico somero	0,34	Llanura continental	Plano concavo, limos y arcillas	0,50	300	0,15	17,44	L	0,110	1,00	1,92	4,50
23	342	Natracuol tipico muy some	0,34	Llanura continental	Plano concavo, limos y arcillas	0,50	300	0,15	17,44	L	0,110	1,00	1,92	2,20
24	358	Natracuol tipico	0,67	Llanura continental	Plano concavo, limos y arcillas	0,25	100	0,10	23,99	L	0,110	1,00	2,64	2,20
24	358	Hapludol tapto-natrico	0,56	Llanura continental	Plano concavo, limos y arcillas	0,25	300	0,13	26,06	L	0,110	1,00	2,87	4,50
24	358	Natracuaf tipico	0,74	Llanura continental	Plano concavo, limos y arcillas	0,25	100	0,10	26,49	L	0,110	1,00	2,91	2,20
25	374	Pelludert tipico	0,06	Llan.litoral marinas	Plano concavo, arcillas	0,50	200	0,14	3,14	L	0,110	1,00	0,35	4,50
26	183	Ustifluent acuico	0,11	Llan.litoral marinas	Plano concavo, arenas	0,50	200	0,14	2,82	L	0,110	1,00	0,31	4,50
27	280	Udipsament tipico	0,11	Llan.litoral marinas	Muy ondulados (dunas), arenas medias	3,00	200	0,50	15,40	L	0,110	1,00	1,69	4,50
27	280	Cuarzipsament tipico	0,11	Llan.litoral marinas	Muy ondulados (dunas), arenas medias	3,00	200	0,50	15,40	L	0,110	1,00	1,69	4,50
28	152	Natrargid tipico	0,39	Llan.litoral fluvial	Plano concavo, arenas, limos y arcillas	0,25	100	0,10	5,93	L	0,110	1,00	0,65	4,50
28	152	Fluvacuent tipico	0,51	Llan.litoral fluvial	Plano concavo, arenas, limos y arcillas	0,25	100	0,10	7,75	L	0,110	1,00	0,85	4,50
29	551	Haplacuol histico	0,20	Delta	Plano, arenas, limos y arcillas	0,00	0	0,00	0,00	L	0,110	1,00	0,00	0,00
29	551	Haplacuent aerico	0,01	Delta	Plano, arenas, limos y arcillas	0,00	0	0,00	0,00	L	0,110	1,00	0,00	0,00
30	312	Haplustol entico	0,49	Depresion lacunar	Plano concavo, arenas, limos y arcillas	0,25	100	0,10	15,29	L	0,110	1,00	1,68	4,50
30	312	Ustortent tipico	0,41	Depresion lacunar	Plano concavo, arenas, limos y arcillas	1,50	200	0,35	44,77	B	0,110	1,00	4,92	4,50

Tabla1. Erosividad de las llluvias (R), erosionabilidad del suelo (K), factor topografico (LS), erosión potencial (RKLS), factor cultivo (C),erosión actual (A), tolerancia a la erosión (To) para los suelos dominantes de la Provincia de Buenos Aires. En esta tabla se utilizó el valor de C para un cultivo de trigo-soja en siembra directa para el calculo de A.