

## Valores de erodabilidad (factor K-USLE) para suelos representativos de la cuenca alta del arroyo Azul (partido de Azul- Buenos Aires)

Piscitelli, M<sup>1</sup>; Varni., M<sup>2</sup>; Sfeir, A<sup>1</sup>; Ares, G<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Cátedra de Conservación y Manejo de Suelos. Facultad de Agronomía. U.N.C.P.B.A. Av. Rep. de Italia 780. 7300. Azul, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: mpiscit@faa.unicen.edu.ar, <sup>2</sup> Instituto de Hidrología de Llanuras. U.N.C.P.B.A. Av. Rep. De Italia 780, 7300, Azul, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: varni@faa.uncen.edu.ar, <sup>3</sup> Becaria CONICET.

Piscitelli, M; Varni., M; Sfeir, A; Ares, G (2010) Valores de erodabilidad (factor K-USLE) para suelos representativos de la cuenca alta del arroyo Azul (partido de Azul- Buenos Aires). Rev.Fac.Agron. Vol 109 (1): 17- 22.

Se ha obtenido el valor del factor K (por nomograma) para 13 suelos representativos de la cuenca alta del arroyo Azul, principal colector del partido. En los valores de K obtenidos se ha encontrado una baja variación (CV=0,20). De las correlaciones con las propiedades evaluadas, la arcilla es la que presenta mejor ajuste ( $R^2 = 0,71$ ), seguida de la arena total con  $R^2=0,68$ . Tanto el limo ( $R^2=0,06$ ) como la cobertura de residuos ( $R^2 = 0,01$ ), para la población de datos presentes, tienen una muy baja correlación con K. También son destacables los bajos coeficientes para arenas muy finas ( $R^2=0,20$ ) y materia orgánica ( $R^2=0,10$ ). Las tendencias que muestran las relaciones de textura con K responden bien a los principios teóricos para arcilla, arenas totales y materia orgánica, no así para limos y arenas muy finas. La densidad aparente en los primeros 10 centímetros del perfil, muestra una correlación positiva. Todas las propiedades evaluadas presentan bajo coeficiente de variación (entre 0,10 y 0,34).

Se considera que tanto la cuantificación de la erodabilidad, como su relación con algunas propiedades de los suelos pueden contribuir en parte a entender la alta diversidad edáfica, fisiográfica y de manejo, y asumir su complejidad al momento de plantear modelos de cuantificación de la erosión hídrica. También permitiría orientar la medición futura de propiedades, establecer la importancia relativa de las mismas y mejorar las recomendaciones sobre de medidas de manejo de estos suelos, siempre teniendo en cuenta las limitaciones de aplicación que pueda tener el nomograma.

**PALABRAS CLAVE:** erodabilidad del suelo, factor K, USLE, propiedades del suelo

Piscitelli, M; Varni., M; Sfeir, A; Ares, G (2010) Erodibility (K-USLE) values for representatives soils of the upper watershed of the Azul stream (Azul district- Buenos Aires). Rev.Fac.Agron. Vol 109 (1): 17- 22.

Soil erodibility factor (K) values (for nomograph) have been obtained for 13 soils that represent the Azul stream upper watershed, which is the main creek of the District. Values obtained have low variation (cv:0,20). In reference to the correlations with the properties evaluated, clay is the most adjusted to them ( $R^2 = 0,71$ ), followed by sand ( $R^2=0,68$ ). Actual data also shows that silt ( $R^2=0,06$ ) as well as residue cover ( $R^2 = 0,01$ ) have low correlation with K. Also, very fine sand ( $R^2=0,20$ ) and soil organic matter ( $R^2=0,10$ ) have low coefficients. Trends show that soil texture relates with K: they have good response to clay, total sands and organic matter theoretical principles, but they show no response to silt and very fine sand. Bulk density values of first ten centimetres have a positive correlation. Every property tested has low variation coefficient (between 0,10 and 0,34).

Erodibility quantification and its relationship with some soil properties may contribute to understand pedogenic, physiographic and management diversity as well as to consider its complexity in order to develop models of water erosion. Also, considering the limits implied in the application of nomograph, it may help to make future measurements of the properties, to found their relative importance and to make a better soil management.

**KEY WORDS:** soil erodibility, K factor, USLE, soil properties

---

Recibido: 14/05/2009

Aceptado: 21/10/2010

ISSN 0041-8676, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

## INTRODUCCIÓN

El avance de la agricultura en el Partido de Azul en los últimos 30 años, ha producido un incremento en 2,5 veces el área sembrada con cultivos agrícolas a expensas de tierras dedicadas a ganadería, especialmente con pastizales naturales (Bilello, com. pers., 2005). Además, este cambio en el uso se dio con tecnología que, en muchos casos, paulatinamente lleva a la modificación de las propiedades de los suelos (Sfeir et al., 1998), causando el aumento de escurrimientos superficiales (Sfeir et al., 2005). Durante todos estos años, también se ha producido un incremento en las precipitaciones por encima de la media histórica. En la ciudad de Azul han ocurrido 6 inundaciones en los últimos 25 años, con una recurrencia cada vez mayor (3 se han producido en un lapso de 14 meses, entre 2001 y 2002). La problemática de las crecidas y de la erosión hídrica pasó a ser un tema de interés para el partido. Si bien no existe información cuantitativa sobre esta problemática mencionada, se ha estimado que alrededor de un 33% de la superficie del partido se ve afectada, en alguna medida, por erosión hídrica potencial o actual (Piscitelli & Sfeir, 2004).

Los ambientes Serrano y Periserrano<sup>(1)</sup> (26% de la superficie del partido), son los que han sufrido los mayores cambios en la presión productiva antes comentada. Las tierras de los ambientes fisiográficos mencionados y del denominado por Piscitelli & Sfeir (2004), "Ondulado de Pie de Monte" (14 % de la superficie del partido) alcanzan los índices de productividad más elevados del partido, y debido a ello, las pérdidas de suelo constituyen un problema con alta incidencia económica en el mismo.

A su vez estos ambientes mencionados, junto al denominado de "Planicie suavemente ondulada" integran la cuenca alta del arroyo Azul (aguas arriba de la ciudad), siendo éste el curso de agua más importante del partido.

En general, los suelos de estos ambientes, (que en una altísima proporción están clasificados como Argiudoles, subgrupos típicos y líticos, INTA, 1992) presentan características morfológicas similares en el horizonte superficial, en cuanto a estar bien provistos de materia orgánica, bien estructurados, similar profundidad del horizonte A, pero presentan una alta variabilidad morfológica en las características subsuperficiales y profundidad del solum. Entre otras y como ejemplo, la presencia irregular de una capa cementada de carbonato de calcio (tosca) a profundidad variable, lleva a sugerir cierta incidencia de la morfología subsuperficial en la variación del movimiento vertical del agua, la capacidad de almacenamiento y el escurrimiento de estos suelos.

Al momento de querer utilizar modelos para la cuantificación de la erosión hídrica surgen varios inconvenientes, entre ellos, no conocer en detalle la complejidad ambiental de la región basada en su diversidad edáfica, fisiográfica y de manejo. Se considera que la cuantificación de la erodabilidad de suelos representativos, para luego interrelacionar la misma con algunas de las propiedades de los horizontes superficiales, puede contribuir en parte al análisis de dicha complejidad.

<sup>(1)</sup> Denominación de los ambientes tomada de Piscitelli & Sfeir (2004). "Fisiografía detallada del Partido de Azul, para el desarrollo de un planteo conservacionista de manejo de suelos." (Buenos Aires, Argentina).

En este trabajo se plantean los siguientes objetivos:

- Obtención del K por nomograma (Wischmeier et al., (1971)).
- Analizar su correlación con algunas propiedades evaluadas en dichos sitios, de manera de orientar la medición futura de propiedades, establecer la importancia relativa de las mismas y mejorar las recomendaciones de medidas de manejo de estos suelos, siempre teniendo en cuenta las limitaciones de aplicación que pueda tener el nomograma.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción de los sitios y de los suelos

En cada sitio se extrajo una muestra de 0-18 cm para determinar textura (Bouyoucos) y el porcentaje de materia orgánica (Walkley & Black-Mebius, 1982) para el cálculo de K. Se realizó una calicata para la descripción morfológica del perfil (según normas USDA, 1951 y 1993) y así asociarlo con alguna de las series descritas por INTA (1992) en las Hojas 3760-16 / 22 y 28. Esta asociación se la considera tentativa debido a que la descripción analítica de las calicatas es incompleta. Del análisis del perfil se extrajo el dato de estructura y permeabilidad requerido para el cálculo de K.

En la Tabla 1 se caracteriza el ambiente, serie y gran grupo y subgrupo de los 13 sitios en los que se hicieron las simulaciones de lluvia.

### Cálculo del factor K

En suelos con menos del 70% de limo y arenas muy finas el nomograma resuelve la siguiente ecuación: (USDA, 1951; Wischmeier et al., 1971; USDA, 1997)

$$100 K = 2,1 M^{1,14} (10^{-4}) (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5 (c - 3)$$

Donde:

M = es el parámetro asociado al tamaño de partículas = (% limo modificado). (% limo + % arena)

Limo modificado = 0,002 - 0,1 mm

a = es el % de Materia orgánica

b = código correspondiente a la clase de estructura, definida según Soil Survey Manual 1951 (USDA 1951).

c = código de la clase de permeabilidad del perfil definida según descripción del Soil Survey Manual, 1951 (USDA 1951).

Para la determinación del coeficiente de correlación de Pearson entre el K y diferentes propiedades del suelo, se utilizó el software estadístico Infostat (2004).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Obtención del K

El Factor K derivado de la ecuación universal (USLE) para la predicción de la pérdida de suelo, conceptualmente brinda información sobre la susceptibilidad del suelo frente a la erosividad de la lluvia, y considera una erosividad particular bajo condiciones estándar de parcelas. Esto surge experimentalmente y no basado en simulaciones del proceso de erosión. Por este camino de estimación de K se considera que la erosión puede deberse a la erodabilidad del suelo (susceptibilidad) pero también puede variar frente a otras variables, como por ejemplo, intensidad de lluvia y manejo.

**Tabla 1.** Descripción de los sitios: Ambiente físico-geográfico en que se encuentran y denominaciones taxonómicas.

**Table 1.** Sites description: Their physical-geographic environment and taxonomic denominations.

Sitio	Ambiente	Serie*	Gran Grupo y Subgrupo**
1	Serrano	***	Hapludol típico*
2	Serrano	Mar del Plata	Argiudol típico
3	Serrano	***	Argiudol típico*
4	Serrano	***	Argiudol típico*
5	Serrano	Mar del Plata	Argiudol típico
6	Periserrano	Balcarce	Argiudol con horizonte petrocálcico
7	Periserrano	Balcarce	Argiudol con horizonte petrocálcico
8	Ondulado de pie de monte	***	Argiudol con horizonte petrocálcico*
9	Ondulado de pie de monte	***	Argiudol con horizonte petrocálcico*
10	Ondulado de pie de monte	Tandil	Argiudol típico
11	Ondulado de pie de monte	***	Argiudol con horizonte petrocálcico*
12	Planicie suavemente ondulada	***	No establecido por falta de datos. Suelo hidrohalmórfico
13	Planicie suavemente ondulada	***	No establecido por falta de datos. Suelo hidrohalmórfico

\* Tentativo en función de la información existente. \*\* Denominado por INTA.

\*\*\* No se encontró asociación con las series descriptas por INTA.

En cambio, el valor K como medida de erodabilidad y asociado a las propiedades de los suelos, que es obtenido por nomograma, también fue derivado de mediciones experimentales y es independiente de las condiciones ambientales y de manejo de los suelos. En este sentido, es importante tener en cuenta que la ecuación de ajuste obtenida experimentalmente por Wischmeier, es solo representativa de las situaciones experimentales. Por lo tanto, en relación a valores de materia orgánica, su aplicabilidad en esta región (donde sus suelos naturalmente están muy bien

provistos de materia orgánica, entre 4% y frecuentemente más de 6%), podría ser de dudosa aplicación. Desde el punto de vista de las otras variables que tiene en cuenta el nomograma se ajusta perfectamente a las condiciones citadas para su aplicabilidad (USDA, 2003).

En la Tabla 2 se presentan los valores de los diferentes parámetros utilizados en el cálculo del K, para 13 sitios diferentes y los valores de K obtenidos.

**Tabla 2.** Valores de los parámetros utilizados para el cálculo del factor K y los valores de K obtenidos.

**Table 2.** Parameter values used to calculate K factor and K factor values obtained.

Sitios	%Arcilla	%Limo	%Arena	%Ar M F	%MO	Cód Estr	Cód Perm	K
1	22,312	40,35	37,34	34,45	3,98	4	2	0,369
2	19,26	48,20	32,54	30,75	5,4	4	3	0,366
3	25,35	45,40	29,25	25,97	5,23	4	3	0,317
4	19,46	50,09	30,44	26,59	4,71	3,5*	4	0,395
5	20,71	46,16	33,13	11,54	2,22	4	4	0,396
6	30,951	41,94	27,11	21,13	5,48	4	4	0,283
7	30,60	44,48	24,92	21,87	5,31	3,5*	3	0,259
8	29,39	45,35	25,26	22,09	5,78	3,5*	3	0,240
9	31,49	45,40	23,11	19,13	5,84	4	4	0,275
10	21,99	35,09	42,92	36,10	5,09	4	5	0,384
11	22,15	36,20	41,66	36,17	6,26	4	5	0,447
17	18,59	47,79	33,62	30,32	5,27	4	3	0,371
18	26,24	44,19	29,58	27,90	5,36	2,5**	3	0,263

Ar M F: Arena Muy Fina, MO: Materia Orgánica, Cód Estr: Código Estructura, Cód Perm: Código Permeabilidad

\* Estructura compuesta: se considero matemáticamente código = 3,5

\*\* Estructura compuesta: se consideró matemáticamente código = 2,5

**Tabla 3.** Correlación ( $R^2$ ) entre el factor K y distintas propiedades de suelos obtenida para 13 diferentes sitios. La correlación con la densidad aparente y la cobertura del suelo, se obtuvo para 11 sitios.

**Table 3.** correlation ( $R^2$ ) between different soil properties and K factor, obtained for 13 different sites. Correlation with bulk density and soil cover, was obtained for 11 sites.

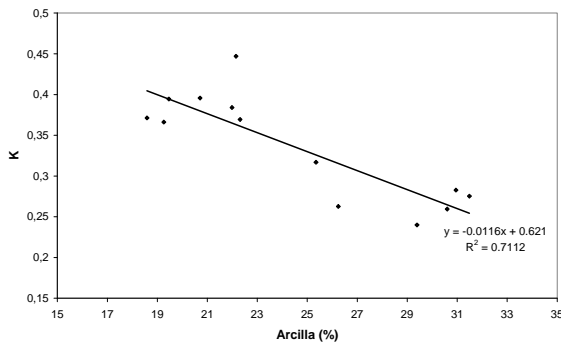
Arcilla	Limo	Arena	Ar M F*	MO	Dens. Ap.	Cobertura
0,71	0,06	0,68	0,20	0,10	0,33	0,01

\* Ar M F: Arena Muy Fina, \* Ar M F: very fine sand

**Correlación de K con propiedades de los suelos**

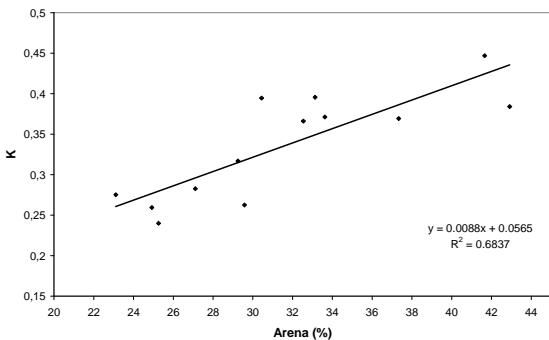
Se realizaron correlaciones entre el valor de K obtenido por nomograma y distintas propiedades del suelo obtenidas en cada sitio mencionado. En la Tabla 3 se presentan los coeficientes de correlación ( $R^2$ ) obtenidos entre K y distintas propiedades. Para densidad aparente y cobertura, sólo se analizó la correlación con 11 sitios por falta de estos datos en dos de los lugares. De las correlaciones evaluadas la que presenta mejor ajuste es la del porcentaje de arcilla ( $R^2 = 0,71$ ), seguida por la de la arena ( $R^2 = 0,68$ ). La de limo ( $R^2 = 0,06$ ) y cobertura ( $R^2 = 0,01$ ), para la población de datos presentes tiene una baja correlación con K. También son destacables los bajos coeficientes para arenas muy finas y materia orgánica. El bajo ajuste ( $R^2 = 0,10$ ) de la materia orgánica puede deberse, a nuestro criterio, a que sus valores en la amplia mayoría de los suelos, están por encima de los establecidos para el input mostrado en el nomograma.

En las Figuras 1 y 2 se muestran gráficamente las relaciones entre los porcentajes de arcilla y arenas totales con el factor K.



**Figura 1.** Relación gráfica entre porcentaje de arcilla y el factor K.

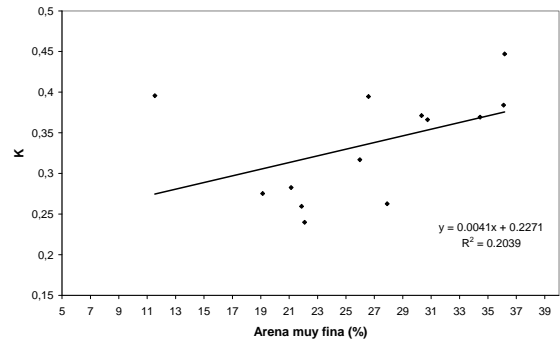
**Figure 1.** Clay percentage and K factor graphic relation.



**Figura 2.** Relación gráfica entre porcentaje de arena total y el factor K.

**Figure 2.** Sand percentage and K factor graphic relation.

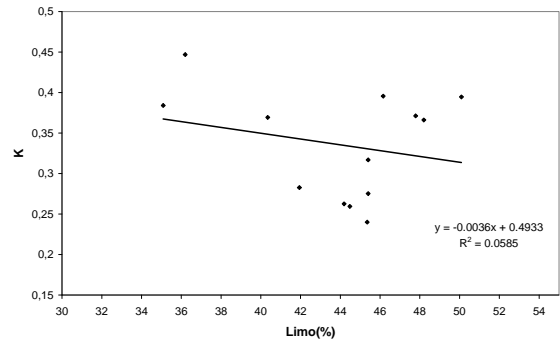
Las tendencias que muestran las relaciones de textura con K responden bien a principios teóricos (Wischmeier et al., 1971): incrementos en contenidos de arcilla muestran valores más bajos de K, mientras que con incrementos en arenas totales el valor de K aumenta.



**Figura 3.** Relación gráfica entre porcentaje de arena muy fina y el factor K.

**Figure 3.** Very fine sand percentage and K factor graphic relation.

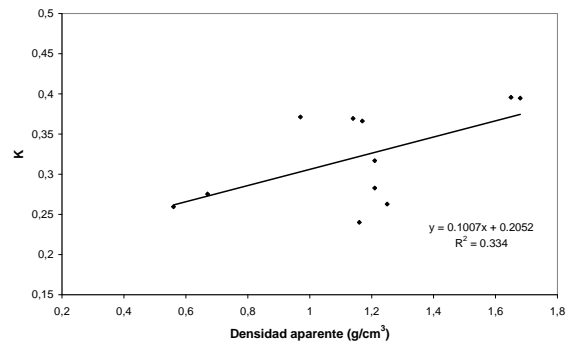
Las arenas muy finas también muestran una correlación positiva. Las tendencias mencionadas son claras, pero debe decirse que la relación con K es más definida, pendientes mayores, entre arcilla y arenas totales, que en el caso de las arenas muy finas y los limos (Figura 4).



**Figura 4.** Relación gráfica entre porcentaje de limo y el factor K.

**Figure 4.** Silt percentage and K factor graphic relation

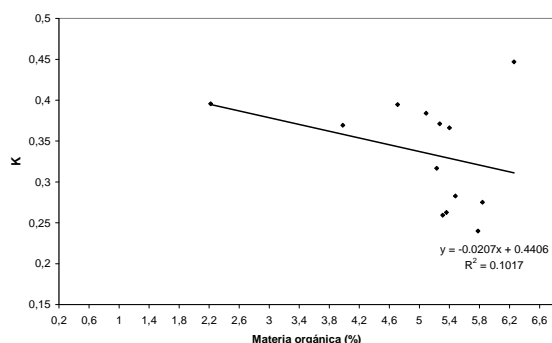
Los limos muestran una correlación positiva, cuando sus valores totales superan el 45%. Cuando los limos totales están en valores por debajo de 45 % muestran una correlación negativa (esto está confirmado por sólo 5 datos). La tendencia media se muestra casi indiferente.



**Figura 5.** Relación gráfica entre densidad aparente y el factor K.

**Figure 5.** Bulk density and K factor graphic relation.

La densidad aparente en los primeros 10 centímetros del perfil, muestra una correlación positiva. La pendiente entre la densidad aparente y K es mayor (Figura 5) y, aunque muestra una dispersión importante de puntos, la tendencia es clara. Incrementos en densidad aparente están asociados con disminución en porosidad (Steila, 1996), esto influiría en la relación infiltración/escorrimento, de manera que aumente el agua potencialmente disponible para escurrir.



**Figura 6.** Relación gráfica entre materia orgánica y el factor K.

**Figure 6.** Organic matter and K factor graphic relation.

Con respecto a materia orgánica la correlación es negativa (Figura 6) como también lo expresa la bibliografía (Wischmeier et al., 1971), aunque la dispersión de puntos es muy importante.

En la Tabla 4 se muestran el número de determinaciones de cada parámetro, la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

**Tabla 4.** Número de datos (n), media, desviación estándar (D.E.) y coeficiente de variación (C.V.) de cada parámetro  
**Table 4.** Data number (n), mean value, standard deviation (S.D.) and coefficient of variation (C.V.) from each parameter.

	Arcilla	Limo	Arena	Ar M F	M.O.	Dens. Ap.	Cobertura	K
n	13	13	13	13	13	11	11	13
Media	24,50	43,90	31,61	26,46	5,07	1,15	0,77	0,34
D.E.	4,78	4,45	6,18	7,25	1,02	0,34	0,27	0,07
C.V.	0,20	0,10	0,20	0,27	0,20	0,30	0,34	0,20

## BIBLIOGRAFÍA

**Bilello, G. 2005.** Comunicación personal. Datos extraídos de estadísticas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA).

**INFOTAT. 2004.** Software estadístico. Grupo Infostat. FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina

**INTA. 1992.** Cartas de Suelos de la República Argentina: Hojas 3760-16 / 22 y 28

**Piscitelli, M. & A. Sfeir. 2004.** Fisiografía detallada del partido de Azul para el desarrollo de un planteo conservacionista de manejo de suelos. (Buenos Aires. Argentina). Segundo Congreso de la Ciencia Cartográfica y IX Semana Nacional de Cartografía. SEGEMAR –IGM. Buenos Aires. Argentina. pp 147-159.

Tanto en las propiedades utilizadas en el cálculo del K en los diferentes sitios de la cuenca alta, como el coeficiente de erodabilidad obtenido, la variación es muy pequeña y con valores similares.

## CONCLUSIONES

Las tendencias que muestran las relaciones entre las distintas propiedades con el factor K, responden bien a los principios teóricos para la arcilla, arenas totales, materia orgánica y densidad aparente; no así para los limos y arenas muy finas.

En relación a las texturas de estos suelos, la arcilla y las arenas totales serían las que podrían explicar en mayor medida el comportamiento del K, con  $R^2$  de 0,71 y 0,68, respectivamente. La contribución de las arenas muy finas es mucho menor ( $R^2 = 0,20$ ), y casi inexistente para los limos ( $R^2 = 0,06$ ). El bajo ajuste ( $R^2 = 0,10$ ) de la materia orgánica puede deberse, a nuestro criterio, a que sus valores en la amplia mayoría de los suelos, están por encima de los establecidos para el input requerido en el nomograma de K.

Tanto en las propiedades utilizadas en el cálculo del K, en los diferentes sitios de la cuenca alta, como el coeficiente de erodabilidad obtenido, la variación es muy pequeña y con valores similares.

Es importante concluir que estas observaciones sólo pueden ser concluyentes para la población de datos analizada y que el grupo de trabajo considera necesario incrementar el número de sitios a evaluar. Solo así se podrán considerar algunas tendencias en el comportamiento de las propiedades de estos suelos en relación a la susceptibilidad a la erosión.

**Sfeir, A., M. Piscitelli, G. Thomas & A. Sottile. 1998.** Changes in soil parameters in sloping Argentina Pampa soils under variable tillage. Annual Meeting Abstracts- Soil Science Society of America-American Society of Agronomy- Crop Science Society of America. Baltimore, Maryland USA. pp.277.

**Sfeir, A., M. Varni, M. Piscitelli, R.J Crespo, M.G Ares & G. Studdert. 2005.** Cuantificación de los procesos de infiltración, escurrimiento y pérdida de suelo por medio de simuladores de lluvia. Actas XX Congreso Nacional del Agua, Mendoza, en CD.

**Steila, D. 1996.** The Geography of Soils, Formation, Distribution and Management. Prentice-Hall, Inc. 222pp.

**USDA. 1951.** Soil Conservation Service. Soil Survey Staff. Soil Survey Manual Handbook 18. U.S.Govt.Print.Off. Washington, DC. 503 pp.

**USDA. 1978.** Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Agriculture Handbook Number 537. 69 pp.

**USDA. 1993.** Soil Survey Manual. Soil Survey Division Staff. USDA Handb.18. U.S.Govt.Print.Off. Washington, DC.437 pp.

**USDA. 1997.** Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE).Agriculture Handbook Number 703. 407 pp.

**USDA. 2003.** RUSLE2: User's Guide. Agriculture Research Service. Washington .DC. USA. 76 pp.

**Walkley & Black- Mebius. 1982.** Methods of Soil Analysis. Part 2. Am. Soc.of Agr. Inc.; Soil Sc. Soc. of Am. Inc. Wisconsin. USA. 1143 pp.

**Wischmeier, W.H.; C. B.Johnson, & B.V. Cross. 1971.** A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of Soil and Water Conservation. Oct/71:189-191.